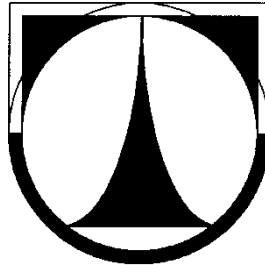


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**ENERGETICKÁ NÁROČNOST POHONU
OSOBNÍHO AUTOMOBILU**

THE ENERGY DEMANDS OF CAR PROPULSION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Filip Houška

Květen 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor B2341

Stroje a zařízení

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

**ENERGETICKÁ NÁROČNOST POHONU
OSOBNÍHO AUTOMOBILU**

THE ENERGY DEMANDS OF CAR PROPULSION

Bakalářská práce

KVM – BP – 200

Filip Houška

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Laurin, CSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Radek Holubec

Počet stran: 49

Počet obrázků: 7

Počet příloh: 0

Počet výkresů: 0

Květen 2011

ENERGETICKÁ NÁROČNOST POHONU OSOBNÍHO AUTOMOBILU

Anotace

Většina automobilů je dnes poháněna palivy kapalného ropného původu, hlavně benzinem a motorovou naftou. Jelikož se tyto paliva řadí do neobnovitelných zásob a je s nimi spojována řada ekologických a ekonomických problémů, snažíme se nahradit benzin a motorovou naftu jinými alternativními palivy. Cílem této bakalářské práce je porovnat jednotlivá paliva z hlediska energetické náročnosti a produkce skleníkových plynů a nastínit tak předpokládaný vývoj jejich využití v dopravě.

THE ENERGY DEMANDS OF CAR PROPULSION

Annotation

Most cars today use liquid oil derivatives as a fuel, especially petrol and diesel. Because these fuels rank among the natural nonrenewable resources a lot of ecological and economical issues are associated. We are trying to replace petrol and diesel with other alternative fuels. This thesis is focused on the comparison of these alternative fuels in the fields of energy demands and greenhouse gases production and outline their future development in transportation.

Desetinné třídění:	(př. 621.43.01 - Teorie spalovacích motorů)
Zpracovatel:	TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
Dokončeno :	2011
Archivní označení zprávy:	

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářskou práce a konzultantem.

V dne

.....

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Josefu Laurinovi CSc., konzultantovi mé bakalářské práce Ing. Radku Holubcovi za odbornou pomoc, četné informace, cenné rady, připomínky, ochotu a trpělivost při zpracovávání tohoto tématu.

Filip Houška

Seznam symbolů a jednotek

NEDC	New European Drive Cycle
OČ VM	oktanové číslo výpočetní metodou
DDGS	vydestilovaná sušená zrna se šťávou (zbytek po výrobě etanolu z pšenice)
MEŘO	methylester řepkového oleje

Obsah

Úvod.....	9
1 Co je to „Whell-to-Wheels“ analýza.....	10
2 Vlastnosti jednotlivých paliv a jejich WTW analýza	11
2.1 Paliva pro zážehový motor.....	13
2.1.1 Benzin	13
2.1.2 Stlačený zemní plyn CNG	15
2.1.3 Etanol	17
2.1.4 Metanol.....	21
2.1.5 Vodík	23
2.1.6 Zhodnocení paliv zážehového motoru.....	26
2.2 Paliva pro vznětový motor.....	28
2.2.1 Motorová nafta.....	28
2.2.2 Dimetyléter	30
2.2.3 Řepkový olej.....	32
2.2.4 FAME (metylester mastných kyselin)	34
2.2.5 Zhodnocení paliv vznětového motoru.....	35
2.3 Pohon elektromotorem.....	37
2.3.1 Elektromotor s palivovými články.....	37
2.3.2 Elektromotor napájený z akumulátoru	39
2.3.3 Zhodnocení pohonu elektromotoru s palivovými články a elektromotoru napájeným akumulátorem.....	41
3 Finanční náklady na spotřebované palivo	43
4 ZÁVĚR.....	44
Seznam použité literatury.....	47

Úvod

V posledních letech je brán čím dál větší důraz na ekologii a ekonomiku provozu osobních automobilů, způsobený snižujícími se zásobami fosilních paliv. Proto je obecně snaha nalézt nová alternativní paliva, která by nahradila stávající neobnovitelné zdroje, zdroji obnovitelnými. Cílem této bakalářské práce je uvést energetickou a ekologickou náročnost jednotlivých zadaných paliv. Obecně lze říci, že čím jsou tyto dva parametry vyšší, tím menší je šance, že budou tato paliva v budoucnu nahrazována palivy dosavadními (benzin, nafta).

Měření energetické náročnosti a produkce skleníkových plynů ve vozidle bylo s výjimkou elektromotoru napájeného z akumulátoru simulováno na společném typicky evropském (5místném kupé) „virtuálním vozidle“. Simulace byla řízena pomocí nástroje ADVISOR vyvinutý NREL, který byl použit pro všechny řídicí jednotky.

Uváděné vzdálenosti dopravy paliv například NG, jsou brány jako vzdálenosti z místa těžby do EU. V naměřených hodnotách je uvedena jednotka MJ/MJ_f, což znamená, kolik MJ energie je potřeba na výrobu jednoho MJ_f energie (tedy jednoho MJ_{paliva}). Dále je zde uvedena hmotnostní jednotka gCO₂eq. Tato hodnota zahrnuje další skleníkové plyny (CH₄, N₂O) tak, že je v závislosti na intenzitě skleníkového efektu přičítá k CO₂ a výsledkem je ekvivalent CO₂.

Předložená bakalářská práce se zabývá též palivy, která se vyrábějí z rostlin (např. etanol). U těchto paliv nebyl proveden odpočet oxidu uhličitého, který rostliny spotřebují během svého života.

Pro výpočet celkové energetické náročnosti a produkce skleníkových plynů, byly vybrány střední hodnoty a vztaženy na 100 km jízdy. Snahou bylo vybrat dosud nejpoužívanější způsoby výroby anebo ty, o kterých se předpokládá, že budou v budoucnu hojně využívány.

1 Co je to „Well-to-Wheels“ analýza

Životní úroveň člověka každým rokem stoupá, a proto dnes například není takový luxus pořídit si nové auto. Díky tomu dochází k rozvoji individuální automobilové dopravy a současně k značnému poklesu dopravy železniční a autobusové. Tyto okolnosti mají za následek neustále se zvyšující spotřebu fosilních paliv. Tato fosilní paliva nejsou bezedná. Nutnost snižování spotřeby fosilních paliv je dána nejen její blížící se omezeností těžby, ale také ekologickými aspekty. Z těchto důvodů je nutné hledat jiná alternativní paliva, která by byla schopna zastoupit benzin či naftu. [1,2]

K tomu abychom byli schopni posoudit, zda je motorové palivo vhodné či nikoliv, je nutné znát dva parametry:

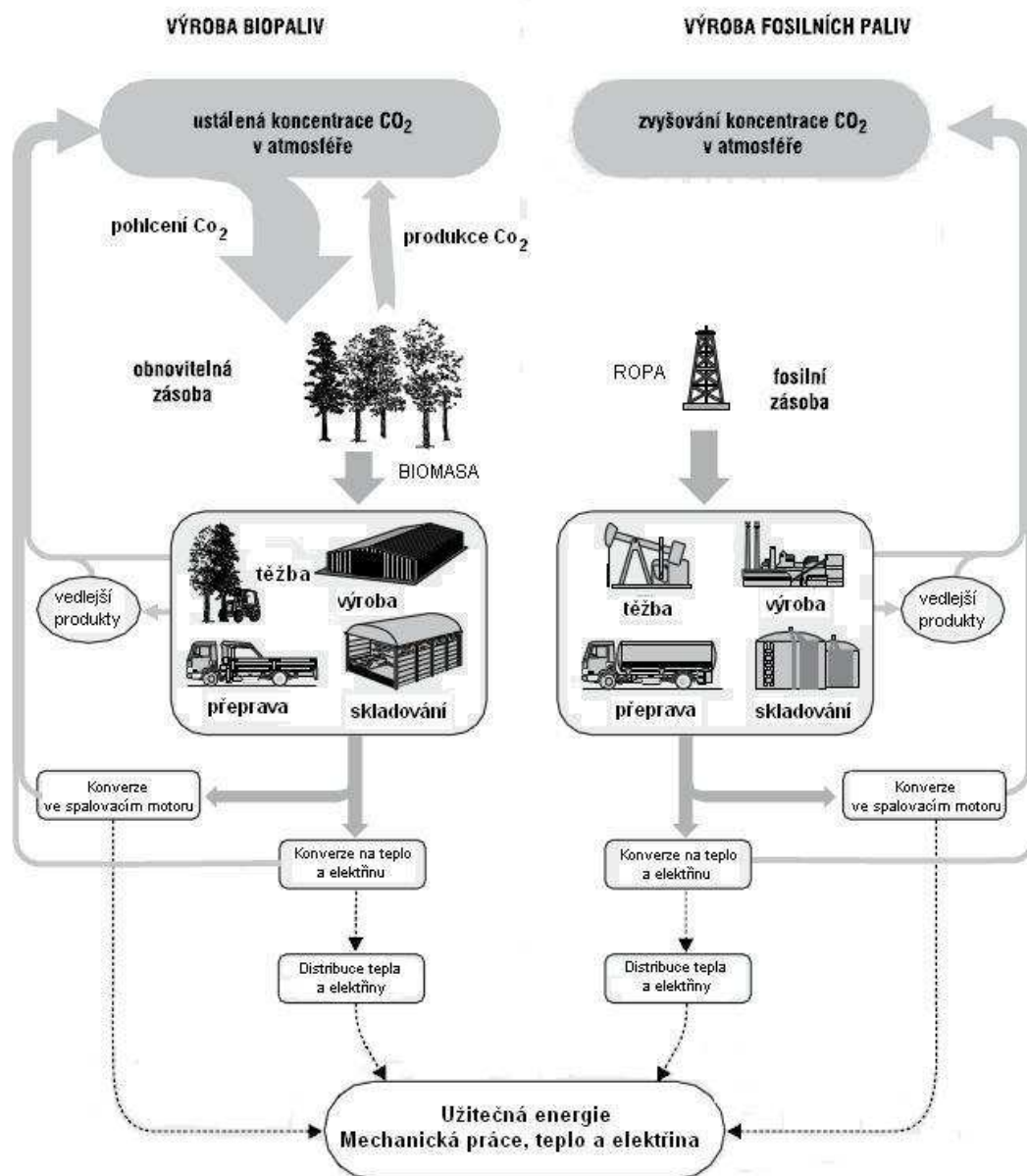
- energetická náročnost výroby a finanční náklady
- produkce skleníkových plynů.

Tyto dva důležité faktory ukazuje „Well-to-Wheels“ (WTW) analýza. Jedná se o jednu z nejlepších současných komplexních analýz tohoto typu. Touto analýzou můžeme hodnotit veškerá paliva, jelikož zohledňuje jeho „celý životní cyklus“. To znamená, že vhodnost paliva nehodnotí pouze podle hodnot naměřených při spalování ve vozidle, ale také bere v úvahu různé procesy nutné k výrobě paliva a dokonce zohledňuje i využívání vedlejší produktů z výroby. Tato cesta hodnocení je správná, jelikož v některých případech by se mohlo například stát, že při výrobě paliva se spotřebuje mnohem více energie a vyprodukuje více skleníkových plynů, než při samotném spalování ve vozidle. [3,4]

Každá WTW analýza je rozdělena na dvě části. První se nazývá Well to Tank (WTT) analýza. Ta posuzuje energetickou náročnost a produkci skleníkových plynů „od zdroje do nádrže“. U fosilních paliv se jedná zejména o těžbu suroviny, dopravu do rafinérií, o výrobu paliva a distribuci do čerpacích stanic. U biopaliva se bude jednat o druh použité půdy pro pěstování, způsobu obdělávání, použitém hnojivu, oblasti, ve které se bude rostlina pěstovat, sklízet, o přepravu, kvalitu biomasy a způsobu výroby biopaliva a distribuci do čerpacích stanic. [3]

Druhá část se nazývá Tank to Wheels (TTW) analýza. Ta posuzuje energetickou náročnost a produkci skleníkových plynů „od nádrže ke kolům“. Pomocí TTW analýzy zjišťujeme kvalitu jednotlivých vyrobených paliv a jejich účinnosti při spalování a přenosu momentu na kola. To znamená, že se zde jedná o naměřené hodnoty, které spotřebuje nebo vyprodukuje již samotný automobil [3]

Po sečtení výsledků těchto dvou analýz (WTT+TTW) získáváme WTW analýzu. Pro přehlednost je níže uveden obr. 1, na kterém je názorně vidět produkce emisí a postup při výrobě paliv.



Obr. 1 Produkce emisí skleníkových plynů fosilních paliv a biopaliv [3]

2 Vlastnosti jednotlivých paliv a jejich WTW analýza

V této kapitole budou paliva rozdělena do příslušných kategorií a uvedeny jejich WTW analýzy. Abychom mohli paliva porovnávat, musejí být stanoveny jistá kritéria, podle kterých se analýza bude vyhodnocovat.

Při vyhodnocování WTT analýzy budou sledovány čtyři fáze:

Fáze 1: Výroba a úprava zdroje

Zahrnuje všechny činnosti potřebné k těžbě, kultivaci nebo k zachycení primárního zdroje energie. Ve většině případů vyžaduje vytěžená nebo sklizená surovina nějakou formu úpravy před tím, než může být ekonomicky a bezpečně přepravována.

Fáze 2: Doprava do EU

Je nutné započítat pro paliva, která jsou těžena mimo EU a musí být přepravována na dlouhé vzdálenosti. Používá se také tam, kde je doprava významná (například převozy biomasy do zpracovatelského závodu).

Fáze 3: Transformace v EU

Zahrnuje zpracování a transformace, které se dějí, aby se konečné palivo zpracovalo dle dohodnuté specifikace.

Fáze 4: Distribuce

Jedná se o konečnou fázi potřebnou k distribuci hotových paliv do čerpacích stanic. [5]

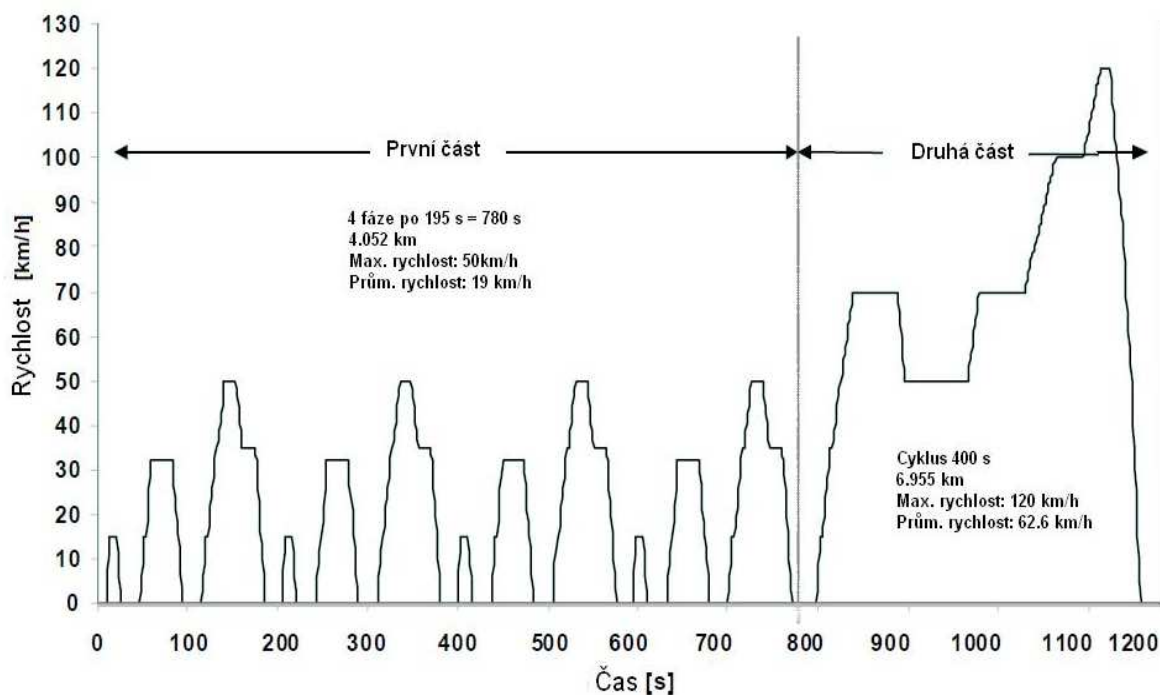
Zkušební vozidlo

Pro regulérní porovnání vhodnosti paliv u TTW analýzy bylo nutné stanovit výkonnostní kritéria vozidel, která byla vyhotovena dle očekávání zákazníka a podrobit vozidla jednotnému zkušebnímu testu. Minimální výkonnostní kritéria, která jsou uvedena v tab. 1, musela splňovat veškerá vozidla (pokud to bylo technicky možné). Zkušební test dle obr. 2 určený ke zjištění škodlivých výfukových emisí a energetické náročnosti byl simulován dle normy evropského jízdního cyklu NEDC.[6]

		Požadavek
Zrychlení 0-50 km/h	s	<4
Zrychlení 0-100 km/h	s	<13
Zrychlení 80-120 km/h při 4. převodu	s	<13
Stoupavost na 1 km/h	%	>30
Nejvyšší rychlost	km/h	>180
Zrychlení	m/s ²	>4.0
Ujetá vzdálenost ⁽¹⁾	km	>600

⁽¹⁾ U vozidel s nulovými emisemi 20 km

Tab. 1 Minimální výkonnostní kritéria vozidla [6]



Obr. 2 Zkušební test dle normy jízdního cyklu NEDC [6]

2.1 Paliva pro zážehový motor

Sledována budou následující paliva: benzin, CNG, etanol, metanol, vodík.

2.1.1 Benzin

2.1.1.1 Výroba benzínu

Při výrobě benzínu jsou z ropy nejprve odstraněny nežádoucí příměsi a pak je v destilačních kolonách rozdělena na základní složky (frakce). Při odlišných teplotách se oddělují různé složky. Frakce benzínu se provádí destilací při teplotách cca 30 – 200 °C bez přístupu vzduchu. Pro výrobu benzínu je používána celá řada rafinérských technologií. Tyto technologie lze rozdělit do dvou základních skupin. První zahrnuje technologie používané k vlastní výrobě složek benzínu a do druhé patří technologie používané k zlepšení kvality těchto složek.

Technologické procesy používané pro výrobu složek benzínu lze ještě dále rozdělit na procesy štěpné a syntézní. Ze štěpných procesů zpracovávajících vysokovroucí ropné frakce je dominující technologií fluidní katalytické krakování. Mezi syntézní procesy používané k výrobě složek benzínu patří alkylace, dále technologie sloužící k výrobě kyslíkatých sloučenin a konečně oligomerace lehkých alkenů. K technologiím sloužícím k

zvýšení kvality složek benzinu patří katalytické reformování těžkých benzinů a izomerace lehkých benzinů. [7]

2.1.1.2 Vlastnosti benzinu

Je to fosilní palivo, obsahující směs uhlovodíků, vysoce hořlavá kapalina charakteristického zápachu, rychle se vypařuje, nerozpouští se ve vodě, rozpouští tuky a oleje. Jeho předností je relativně bezpečný provoz a dobrá skladovatelnost. Jedná se o neobnovitelný zdroj energie. [8]

V tab. 2 jsou uvedeny základní vlastnosti benzinu.

Hustota (kg/m ³)	Výhřevnost (MJ/kg)	Teplota vznícení (°C)	OČ VM	Obsah uhlíku (%hm.)	Obsah kyslíku (%hm.)	Bod tuhnutí (°C)
750	42,9	450	91 - 100	87	až 2,7	Pod -45

Tab. 2 Základní vlastnosti benzinu [6,9]

2.1.1.3 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u benzinu

TTW

Měření probíhalo na zážehovém motoru s vstřikem do sacího kanálu. Jeho vlastnosti a naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 3. K těmto základním vlastnostem vozidla se snažili přiblížit nebo je zcela splnit i ostatní vozidla na jiné pohony. Výsledky naměřených hodnot energie a produkce CO₂ u benzinu, budeme uvažovat jako referenční hodnoty a porovnávat s ostatními alternativními palivy. [6]

WTT

Výroba benzinu je zde uvažována pouze z ropy, jelikož takto se vyrábí drtivá většina tohoto paliva. Údaje z tab. 3 se vztahují k dodávkám benzinu z Blízkého východu a nejsou zde uvažovány dodávky například z velkých kanadských a venezuelských ropných ložisek. Výsledky naměřených hodnot, budeme stejně jako u TTW uvažovat jako referenční hodnoty a porovnávat s ostatními palivy. [5]

TTW	Vlastnosti vozidla		Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)					
	Obsah motoru	1,6l	Objem	6,95l	CO ₂	166,20				
	Výkon	77kW			CH ₄	0,90				
	Hmotnost motoru	120kg			Hmotnost	5,21kg	N ₂ O	0,90		
	Hmotnost vozidla	1181kg			Energie	223,5MJ	Celkem	168,00		
WTT	Benzin z ropy		Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů					
			MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f		
	Těžba a zpracování		0,03	6,71	3,60	3,60	0,00	0,00		
	Transport		0,01	2,24	0,90	0,90	0,00	0,00		
	Refinace		0,08	17,88	7,00	7,00	0,00	0,00		
	Distribuce a prodej		0,02	4,47	1,00	1,00	0,00	0,00		
	Celkem		0,14	31,29	12,50	12,50	0,00	0,00		

WTW (spotřeba/100km)

254,79 MJ
19,59 kg CO₂

Tab. 3 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u benzínu [5,6]

2.1.2 Stlačený zemní plyn CNG

2.1.2.1 Těžba a úprava CNG

Těží se hlavně 4 základní typy zemního plynu, které se rozdělují podle složení:

1. Zemní plyn suchý – obsahuje velké procento metanu (95 - 98%) a nepatrné množství vyšších uhlovodíků.
2. Zemní plyn vlhký – vedle metanu obsahuje vyšší podíl uhlovodíků. Tento plyn se těží s ropou, se kterou společně vzniká, a proto se také nazývá jako tzv. naftový zemní plyn.
3. Zemní plyn kyselý – je plyn s vysokým obsahem sulfanu (H_2S), který se v úpravárenských závodech odstraňuje.
4. Zemní plyn s vyšším složením inertů – obsahuje převážně oxid uhličitý a dusík.

Z vyšších uhlovodíků převažují v zemním plynu hlavně ty nasycené, které jsou za normálních podmínek plynné (etan, propan a butan) a v některých ložiscích jsou i uhlovodíky, které jsou kapalné. [10,11]

Vytěžený zemní plyn je nutné upravit na takovou kvalitu, aby ho bylo možné komerčně využívat. Technologie k odstranění nevhodných látek je závislá na složení plynu. Jako nevhodné příměsi bychom mohli jmenovat vodu, sírné látky, prach a již zmiňované vyšší uhlovodíky. [11]

Takto připravený zemní plyn, se z hlediska koncentrace musí stlačit na 200 barů pomocí vysokotlakých kompresorů. Vznikající CNG je i po stlačení v plynné formě.

2.1.2.2 Vlastnosti CNG

Je to fosilní palivo, které se jako jedno z mála řadí do skupiny ekologických paliv. Důvodem je vysoké zastoupení nejjednodušších uhlovodíků a také to, že v podstatě netvoří nebezpečné pevné částice. [12]

CNG je bezbarvý, nezapáchající, nejedovatý, nedýchatelný hořlavý plyn, který je lehčí než vzduch. V následující tab. 4 jsou uvedeny základní vlastnosti CNG.

Převažující uhlovodíky	Hustota (zemní plyn) (kg/m^3)	Výhřevnost (MJ/kg)	Teplota vznícení ($^{\circ}\text{C}$)	OČ VM	Obsah uhlíku (%hm.)	Obsah kyslíku (%hm.)	Bod tuhnutí ($^{\circ}\text{C}$)
CH_4	0,68	45,1	650	130	74,25	0	-183

Tab. 4 Základní vlastnosti CNG [6,9]

2.1.2.3 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u CNG

TTW

Měřeným vozidlem byl opět zážehový motor s vstřikem do sacího kanálu poháněný pouze CNG. Při nutnosti ujetí 600 km na CNG, byla vypočítána hmotnost vysokotlakové kompozitní nádrže na 103 kg, což je oproti hmotnosti benzinové nádrže o 87 kg více.

Kvůli splnění požadavků na výkonnostní kritéria a ztrátám točivého momentu u plynného paliva, bylo nutné zvýšit výkon a obsah motoru z 1,6 l na 1,9 l. Těmito úpravami se celkem vozidlo na CNG stalo o 117 kg hmotnější. Naměřené hodnoty jsou v tab. 5. [6]

WTT

U CNG si můžeme vybrat několik způsobů výroby a místa těžby. Byly vybrány 3 možné varianty, které jsou nejvhodnější nebo se předpokládají do budoucna:

Dovoz NG (7000 km) na CNG – tato cesta ukazuje plyn dovážený do Evropy prostřednictvím plynovodů ze západní Sibíře. Tyto dodávky jsou považovány jako jedny z hlavních současných a budoucích zdrojů.

Dovoz NG (4000 km) na CNG – tento plyn je dovážen do Evropy prostřednictvím plynovodů z blízkého východu nebo jihozápadní Asie. Tyto zdroje jsou též považovány jako jedny z hlavních budoucích dodávek do Evropy.

Dovoz LNG na CNG – po vytěžení je plyn zkapalněn, aby mohl být dopravován pomocí tankerů do Evropy z různých vzdálených zdrojů (přibližně 8800 km). Jedná se o

jedno z nejslibnějších druhů přepravy, hlavně z hlediska přepravovaného objemu. Po dovozu do Evropy je LNG vypařeno a stlačeno na CNG.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 5. [5]

								WTW (spotřeba/100km)
TTW	Vlastnosti vozidla		Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)			
	Obsah motoru	1,9l			CO ₂	125,30		
	Výkon	85kW	Objem	6,92l	CH ₄	3,70		
	Hmotnost motoru	150kg	Hmotnost	4,94kg	N ₂ O	0,90		
	Hmotnost vozidla	1298kg	Energie	222,8MJ	Celkem	129,90		
WTT	Dovoz NG (7000 km) na CNG	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	Těžba a zpracování	0,03	6,86	3,80	1,30	0,10	0,00	
	Transport	0,19	43,47	15,00	10,20	0,19	0,00	
	Distribuce	0,01	2,29	0,60	0,60	0,00	0,00	
	Komprese	0,06	13,73	2,90	2,70	0,01	0,00	
	Celkem	0,29	66,35	22,30	14,80	0,30	0,00	
WTT	Dovoz NG (4000 km) na CNG	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	Těžba a zpracování	0,03	6,86	3,50	1,20	0,09	0,00	
	Transport	0,09	20,59	7,50	4,80	0,11	0,00	
	Distribuce	0,01	2,29	0,60	0,50	0,00	0,00	
	Komprese	0,06	13,73	2,90	2,70	0,01	0,00	
	Celkem	0,19	43,47	14,50	9,20	0,21	0,00	
WTT	Dovoz LNG na CNG	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	Těžba a zpracování	0,03	6,86	3,50	1,20	0,09	0,00	
	Zkapalnění	0,09	20,59	5,80	4,70	0,04	0,00	
	Lodní transport	0,09	20,59	5,60	5,50	0,00	0,00	
	Příjem a vypařování	0,03	6,86	1,80	1,80	0,00	0,00	
	Distribuce	0,01	2,29	0,60	0,50	0,00	0,00	
	Komprese	0,06	13,73	2,90	2,70	0,01	0,00	
Celkem	0,31	70,93	20,20	16,40	0,14	0,00		

289,15 MJ

18,09 kg CO₂

266,27 MJ

16,31 kg CO₂

299,73 MJ

17,61 kg CO₂

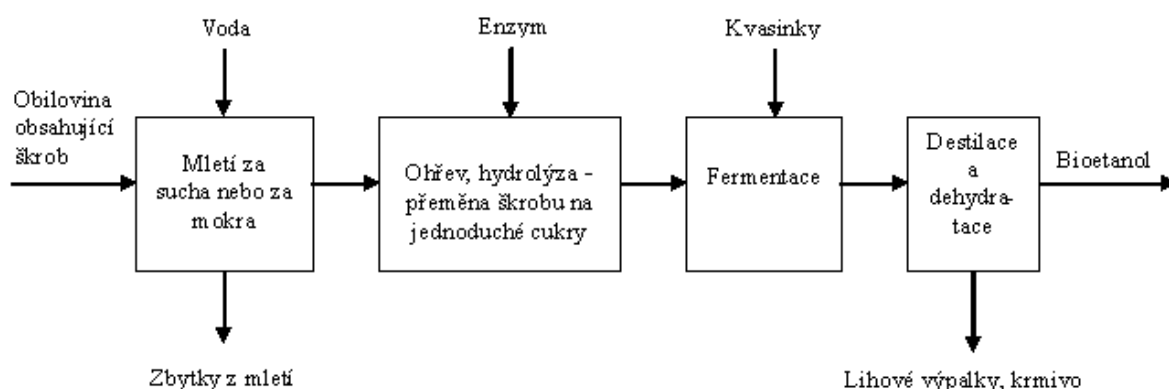
Tab. 5 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u CNG [5]

2.1.3 Etanol

2.1.3.1 Výroba etanolu

Pro výrobu etanolu je vhodná jakákoliv biomasa, která obsahuje dostatečné množství cukrů nebo látek, které lze na cukr převést, jako jsou škrob nebo celulóza. Použitá surovina nemá vliv na vlastnosti konečného výrobku. Jelikož jsou v této práci uvedeny 3 různé suroviny pro výrobu etanolu, je nutné nastínit dané 3 možnosti výroby:

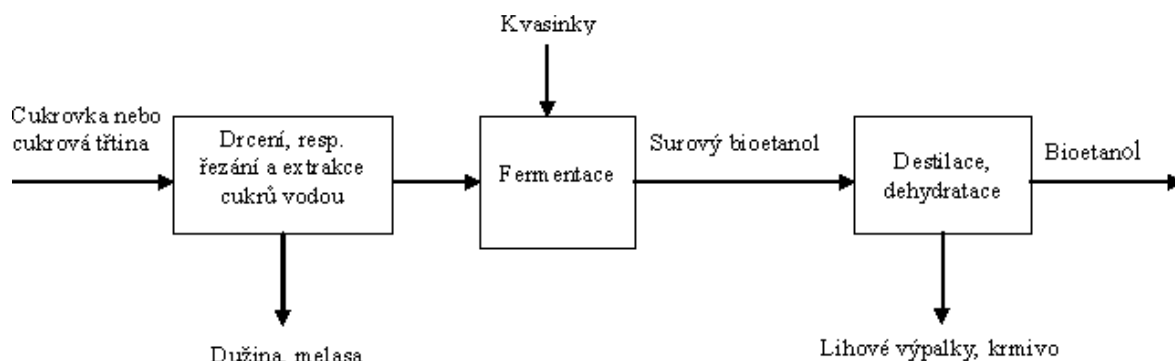
Etanol z obilnin – při výrobě je jako surovina použit pouze škrob, který je obsažen v obilných zrnech a představuje pouze malý podíl z celkové hmoty obilné rostliny. Blokové schéma výroby z obilnin je uvedeno na obr. 3.



Obr. 3 Blokové schéma výroby etanolu z obilnin [13]

Prvním krokem je mechanická předúprava, mletí nebo drcení prováděné za mokra či za sucha. Dále následuje proces bobtnání a zmazovatění zrn škrobu. Tento škrob je postupně převáděn až na zkvasitelný sacharid, převážně glukosu působením enzymů. Následuje vlastní fermentace kvašení, při které jsou vzniklé zkvasitelné sacharidy zkvašovány kvasinkami na etanol a oxid uhličitý. Po skončení fermentace následuje destilační dělení a to nejprve surového etanolu. Jedná se o jednoduchou destilaci, při které se získá destilát, surový etanol a destilační zbytek (výpalky). Pro použití etanolu jako pohonné hmoty je ještě nutná jeho rafinace zaměřena na odstranění vedlejších produktů, které mohou nepříznivě působit na součásti palivového systému automobilů a na průběh procesu odvodňování lihu. Výsledkem rafinace a rektifikace surového etanolu je rafinovaný etanol, který obsahuje maximálně 95,5 % hm. etanolu, zbytek je voda. To je dáno vlastnostmi směsi etanolu a vody vytvářející při destilačním dělení azeotropní směs (směs o konstantním bodu varu), která nejde tímto způsobem již dále dělit. K dělení azeotropní směsi vody a lihu je nutné použít modifikované metody, z nichž nejznámější je destilační dělení ternární směsi. [13]

Etanol z cukrové řepy - cukrová řepa obsahuje jednoduché cukry, které lze snadno oddělit a fermentovat působením kvasinek na etanol. Blokové schéma výroby z této suroviny je uvedeno na obr. 4.

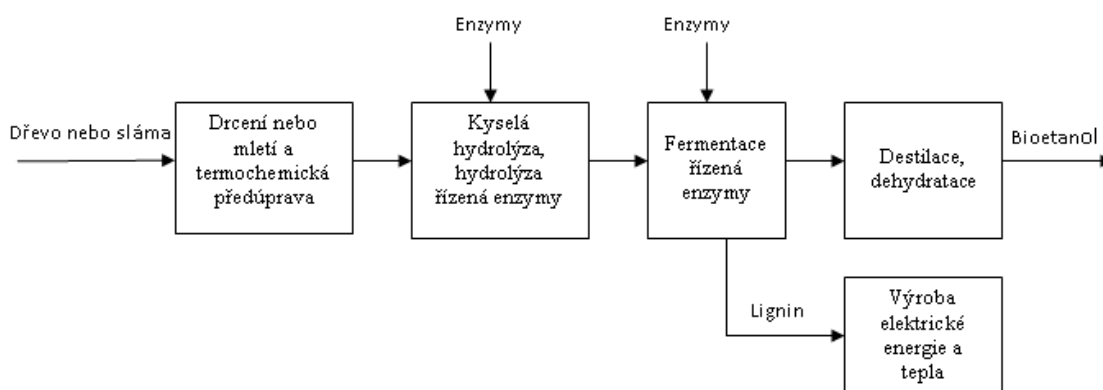


Obr. 4 Blokové schéma výroby etanolu z cukrové řepy nebo třtiny [13]

Cukrová řepa nebo třtina je rozmělněna, cukry jsou odděleny pomocí vypírky vodou a zkvašeny ve fermentoru na etanol, působením kvasinek za podmínek obdobných jako v případě výroby etanolu z obilnin. Odpadem ze zpracování jsou dužina a melasa. [13]

Etanol z lignocelulózových surovin - do této skupiny patří rychle rostoucí energetické plodiny (vrba, blahovičnick) nebo zbytky ze zemědělské produkce (sláma, zbytky ze zpracování dřeva). Existuje několik technologických postupů výroby, které jsou dosti složité, realizovatelné, ale zatím nerozšířené.

Prvním krokem je opět drcení nebo mletí kvůli rozmělnění na menší kousky, které se podrobí termochemické předúpravě. Jejím účelem je narušit strukturu celulózy a hemicelulózy a usnadnit tak přístup kyselině nebo enzymům. V dalším kroku probíhá konverze takto předupravené celulózy a hemicelulózy na jednoduché cukry. Nejstarší klasický postup konverze na fermentovatelný materiál představuje kyselá hydrolýza. Postup výroby pomocí kyselé hydrolýzy je možné najít v literatuře [13]. Posledním krokem je rafinace a konečně dehydratace etanolu. Blokové schéma je uvedeno na obr. 5.



Obr. 5 Blokové schéma výroby etanolu z lignocelulózových surovin [13]

2.1.3.2 Vlastnosti etanolu

Etanol je jako motorové palivo bezvodý etylalkohol, vyrobený z přírodních obnovitelných surovin. Hoří neviditelným plamenem, ale vhodnými přísadami lze plamen zviditelnit.

Problémy mohou nastat i při malém množství vody v palivu, které na sebe váže etanol. Dochází potom ke korozi palivového příslušenství. Etanol působí agresivně na některé plasty a pryže.

Hlavní rozdílné vlastnosti oproti benzínu jsou: menší výhřevnost, malá mazací schopnost, vysoké oktanové číslo (umožňuje zvýšit kompresní poměr motoru) a skupenské výparné teplo (způsobuje problémy při spouštění motoru za nižších teplot).[14]

Základní vlastnosti etanolu jsou uvedeny v tabulce 6.

Chemická formulace	Hustota (kg/m ³)	Výhřevnost (MJ/kg)	Teplota vznícení (°C)	OČ VM	Obsah uhlíku (%hm.)	Výparné teplo (kJ/kg)	Bod tuhnutí (°C)
C_2H_5OH	794	26,8	420	120	52,2	904	-114,1

Tab. 6 základní vlastnosti etanolu [9]

2.1.3.3 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u etanolu

TTW

Měření bylo provedeno na zážehovém motoru s vstřikem do sacího kanálu. Jedná se o vozidlo, které mělo stejné parametry jako vozidlo benzinové. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 7. [6]

WTT

U etanolu byly vybrány opět 3 možné varianty výroby, které jsou nejpoužívanější nebo které se předpokládají do budoucna:

Etanol z cukrové řepy – zbytky z cukrové řepy, tedy cukrové řízky, budou využity jako krmivo pro zvířata a výpalky na výrobu bioplynu.

Etanol z obilí – je zde několik možných variant výroby a zpracování dané suroviny. V našem případě jsme vybrali tu spíše méně energeticky náročnou. Energie a teplo potřebné k výrobě etanolu bude poskytováno bioplynem získaným z DDGS. Je zapotřebí malý dovoz elektrické energie. Zbytky z výroby se vrací zpět na pole jako hnojivo.

Etanol z palivového dřeva – zatím není využíváno na komerční bázi a probíhá doposud intenzivní výzkum a vývoj této technologie, která by měla mít budoucnost.

Jedná se o etanol z celulózy, kde se jako vstupní surovina využívá dřevina Topol. [5]

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 7.

TTW	Vlastnosti vozidla		Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)			
	Obsah motoru	1,6l			CO ₂	159,50		
	Výkon	77kW	Objem	10,50l	CH ₄	0,90		
	Hmotnost motoru	120kg	Hmotnost	8,34kg	N ₂ O	0,90		
	Hmotnost vozidla	1181kg	Energie	223,5MJ	Celkem	161,30		
WTT	Etanol z cukrové řepy		Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů			
			MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f
	Kultivace	0,11	24,59	16,19	7,20	0,10	0,029	
	Silniční přeprava	0,02	4,47	1,18	1,20	0,00	0,000	
	Zpracování	1,04	232,44	6,06	9,30	0,03	-0,013	
	Distribuce a prodej	0,03	6,71	1,54	1,50	0,00	0,000	
	Celkem	1,20	268,20	24,97	19,20	0,13	0,016	
WTT	Etanol z obilnin		Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů			
			MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f
	Kultivace	0,27	60,35	39,38	17,30	0,03	0,072	
	Silniční přeprava	0,03	6,71	0,63	0,60	0,00	0,000	
	Zpracování	0,77	172,10	-12,96	-6,00	-0,02	-0,022	
	Distribuce a prodej	0,03	6,71	1,54	1,50	0,00	0,000	
	Celkem	1,10	245,85	28,59	13,40	0,01	0,050	
WTT	Etanol z palivového dříví		Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů			
			MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f
	Kultivace	0,11	24,59	6,28	3,10	0,00	0,010	
	Silniční přeprava	0,01	2,24	0,88	0,90	0,00	0,000	
	Zpracování	1,81	404,54	13,33	13,50	0,02	-0,002	
	Distribuce a prodej	0,03	6,71	1,54	1,50	0,00	0,000	
	Celkem	1,96	438,06	22,03	19,00	0,02	0,008	

WTW (spotřeba/100km)

491,70 MJ

21,71 kg CO₂

469,35 MJ

22,52 kg CO₂

661,56 MJ

21,05 kg CO₂

Tab. 7 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u etanolu [5,6]

2.1.4 Metanol

2.1.4.1 Výroba metanolu

V současné době se nejvíce metanol vyrábí ze zemního plynu. Prvním krokem je přeměna zemního plynu na syntézní plyn, označovaný také jako synplyn. Pro syntézu metanolu je nejvýhodnější, když synplyn obsahuje pouze H₂, CO a CO₂ v jistém poměru, který lze vypočítat dle stechiometrického vztahu.

Celkový mechanismus syntézy metanolu není dosud zcela objasněn. Převládá názor, že metanol vzniká z CO₂ (přítomného ve vstupní surovině resp. reakční směsi). Molekuly

CO₂ se asociativně adsorbují na povrchu aktivní složky katalyzátoru mědi a hydrogenací vzniká metanol. Cílem CO je udržovat měď v redukované formě. [13]

2.1.4.2 Vlastnosti metanolu

Je to nejjednodušší alkohol. Dříve byl nazýván jako dřevný líh. Jedná se o bezbarvou alkoholicky páchnoucí kapalinu, která je mísitelná s vodou. Je to těkavá, hořlavá a silně jedovatá látka. Při manipulaci s metanolem je nutné zabránit kontaktu s kůží a očima, jelikož se může penetrovat kůží a vstoupit do krevního řetězce. Z těchto důvodů musí být aditivován, aby ho bylo možné rozlišit od ostatních paliv.

Jeho výhodou je vysoké oktanové číslo a mírně vyšší hustota, naopak nevýhodou nízká výhřevnost oproti benzínu. [4,21]

Základní vlastnosti metanolu jsou uvedeny v tab. 13.

Chemická formulace	Hustota (kg/m ³)	Výhřevnost (MJ/kg)	Teplota vznícení (°C)	OČ VM	Obsah uhlíku (%hm.)	Výparné teplo (kJ/kg)	Bod tuhnutí (°C)
CH ₃ OH	793	19,9	450	111-126	37,5	1110	-97,7

Tab. 13 Základní vlastnosti metanolu [6,9]

2.1.4.3 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u metanolu

TTW

Vozidlo mělo shodné parametry jako na etanol (viz kapitola 2.1.3.3).

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 15. [6]

WTI

Uvažována bude doprava zemního plynu vedeného ze vzdálených zdrojů (4000 km a 7000 km) do Evropy, kde se bude ze zemního plynu metanol vyrábět a dále distribuovat.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 15. [5]

TTW	Vlastnosti vozidla		Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)			
	Obsah motoru	1,6l			CO ₂	154,40		
	Výkon	77W	Objem	14,11l	CH ₄	0,60		
	Hmotnost motoru	120kg	Hmotnost	11,23kg	N ₂ O	0,50		
	Hmotnost vozidla	1181kg	Energie	223,5MJ	Celkem	155,50		
WTT	Metanol z NG (7000 km)		Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů			
			MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f
	Těžba a zpracování NG		0,04	8,94	5,60	2,00	0,15	0,000
	Transport NG		0,29	64,82	22,00	15,00	0,27	0,001
	Distribuce NG		0,01	2,24	0,80	0,80	0,00	0,000
	Výroba metanolu		0,47	105,05	11,70	11,70	0,00	0,000
	Distribuce a prodej metanolu		0,03	6,71	1,90	1,80	0,00	0,000
	Celkem		0,84	187,74	42,00	31,30	0,42	0,001
WTT	Metanol z NG (4000 km)		Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů			
			MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f
	Těžba a zpracování NG		0,04	8,94	5,20	1,80	0,13	0,000
	Transport NG		0,14	31,29	11,00	7,00	0,16	0,000
	Distribuce NG		0,01	2,24	0,80	0,80	0,00	0,000
	Výroba metanolu		0,47	105,05	11,70	11,70	0,00	0,000
	Distribuce a prodej metanolu		0,03	6,71	1,90	1,80	0,00	0,000
	Celkem		0,69	154,22	30,60	23,10	0,29	0,000

WTW (spotřeba/100km)

411,24 MJ
24,94 kg CO₂

377,72 MJ
22,39 kg CO₂

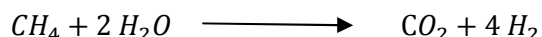
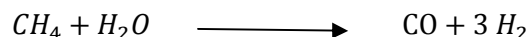
Tab. 15 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u metanolu [5,6]

2.1.5 Vodík

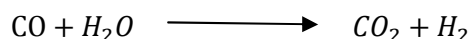
2.1.5.1 Výroba vodíku

Vodík můžeme vyrábět mnoha způsoby, a proto zde budou nastíněny 2 možné varianty:

Výroba vodíku parním reformováním – nejčastěji používanou surovinou bývá odsířený zemní plyn. Parní reforming je prováděn v pecích při teplotách 750 – 800 °C a tlaku 3 – 5 MPa v trubkách naplněných katalyzátorem na bázi oxidu nikelnatého. Metan reaguje s vodní párou za vzniku oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého a vodíku.

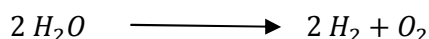


Reforming se provádí v přebytku vodní páry cca 3:1, aby nedocházelo k usazování uhlíku na katalyzátoru. Tyto reakční produkty o teplotě cca 750 °C se vedou přes kotel na výrobu páry a přes výměník, kde se ochladí na cca 360 °C, dále do konvertorů, kde se CO reakcí s další vodní párou přemění na CO₂.



Tato vratná exotermní (doprovázená vydáváním tepla) reakce se obvykle realizuje ve dvou stupních. V prvním tzv. vysokoteplotním stupni je užíván méně aktivní katalyzátor na bázi oxidu železa a chrómu kvůli odstranění sirných nečistot. V druhé fázi se produkty ochladí a dále se vedou do nízkoteplotního konvertoru, který je naplněn vysoce aktivním měděným katalyzátorem a tím poté dojde ke snížení oxidu uhelnatého až na 0,2 – 0,3 % objemu. Posledním krokem je odstranění CO_2 a zbytků CO například pomocí vypírky. [15]

Výroba vodíku elektrolýzou – jedná se o proces, při kterém stejnosměrný proud při průchodu vodným roztokem štěpí chemickou vazbu mezi vodíkem a kyslíkem. Ideální napětí dekompozice je 1,229 V, ale reálné napětí se pohybuje v rozmezí 1,85 – 2,05 V (také kvůli nutnosti dodání části tepla ve formě elektrické energie).



H^+ pak reaguje na katodě za vzniku plynu, který je jímán a následně skladován. Proces elektrolýzy probíhá za pokojových teplot a pro jeho průběh je nutná pouze elektrická energie. Výstupem elektrolýzy je kyslík a vysoce čistý vodíkový plyn, který není potřeba dále dodatečně dočišťovat. Účinnost procesu se pohybuje v rozmezí 80 – 92 %. [16]

2.1.5.2 Vlastnosti vodíku

Je to bezbarvý lehký plyn, bez chuti a zápachu, který zapálen na vzduchu hoří namodralým plamenem. Vytváří sloučeniny se všemi prvky periodické tabulky s výjimkou vzácných plynů. Pro využití vodíku k pohonu automobilu jsou důležité následující vlastnosti: vysoká výhřevnost (téměř 3krát větší oproti benzínu), nízká hustota (způsobující problémy s uskladněním), široké rozmezí hořlavosti (snadná zápalnost a sklon k samozápalu), vysoká rychlost šíření plamene (oproti benzínu řádově vyšší šíření plamene, což celý proces spalování přibližuje k termodynamicky ideálnímu cyklu motoru). [17] Základní vlastnosti vodíku jsou uvedeny v tabulce 8.

Chemický vzorec	Hustota (kg/m^3)	Výhřevnost (MJ/kg)	Teplota vznícení ($^{\circ}\text{C}$)	Obsah uhlíku (%hm.)	Rozmezí zápalnosti λ
H	0,089	120,1	585	0	0,5 – 10,5

Tab. 8 Základní vlastnosti vodíku [6,18]

2.1.5.3 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u vodíku

TTW

Jednalo se opět o zážehový motor s vstřikem do sacího kanálu. Motor na vodíkový pohon je stále ve stádiu vývoje. Pro naše měření byl použit přeplňovaný motor na stlačený vodík s obsahem 1,3 l, který měl stejnou hmotnost jako motor benzínový. Pro ujetí 600 km bylo potřeba 9 kg vodíku, hmotnost nádrže činila 120 kg. Celková hmotnost vozidla byla tedy o 85 kg hmotnější než u benzínového motoru.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 9.

WTT

Byly vybrány 3 možné varianty výroby vodíku:

Vodík ze zemního plynu – potrubím vedený zemní plyn (ze vzdálenosti 7000 km) do velké továrny na výrobu vodíku a poté samotný vodík distribuován do místních sítí (s průměrnou vzdáleností 50 km) a teprve na čerpací stanici stlačen na 88 MPa. Výhodou takového systému jsou velké továrny, které jsou účinnější než ty malé, co se týče integrace a využití tepla.

Vodík vyrobený elektrolýzou – zde budeme brát v úvahu 2 možné varianty výroby elektrické energie, která je nutná k uskutečnění elektrolýzy. První variantou bude výroba elektrické energie z černého uhlí a druhá varianta z jaderné elektrárny.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 9.

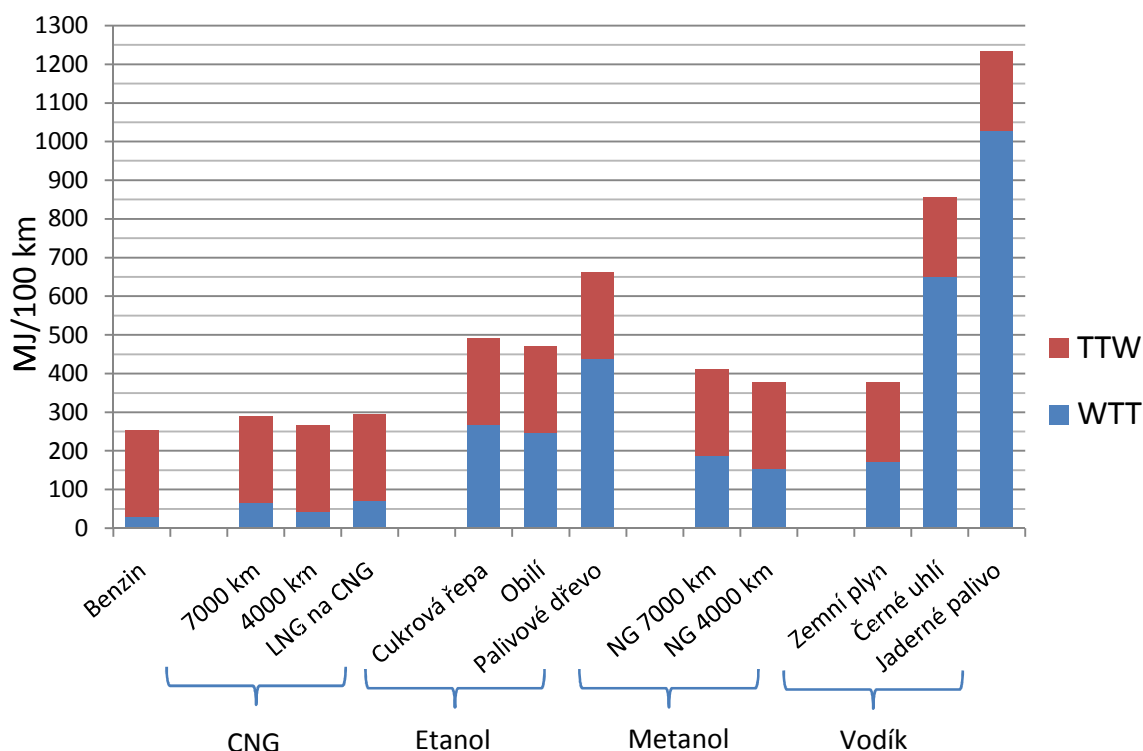
TTW	Vlastnosti vozidla	Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)				WTW (spotřeba/100km)
	Obsah motoru 1,3l Výkon 77kW Hmotnost motoru 120kg Hmotnost vozidla 1266kg	Objem 5,2l Hmotnost 1,4kg Energie 204,3MJ		CO ₂ 0,00 CH ₄ 0,00 N ₂ O 0,50 Celkem 0,50				
WTT	Vodík ze zemního plynu	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				377,96 MJ 21,83 kg CO ₂
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	NG těžba a zpracování	0,04	8,17	5,20	1,80	0,13	0,000	
	NG doprava	0,26	53,12	20,10	13,70	0,25	0,001	
	NG distribuce	0,01	2,04	0,80	0,70	0,00	0,000	
	Výroba vodíku	0,32	65,38	71,40	73,70	0,02	0,000	
	Zplynování vodíku, Distribuce a komprese	0,22	44,95	9,10	8,50	0,02	0,000	
	Celkem	0,85	173,66	106,60	98,40	0,42	0,001	
WTT	Vodík elektrolýzou (černé uhlí)	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				856,02 MJ 86,51 kg CO ₂
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	Zásoba uhlí	0,34	69,46	58,60	23,60	1,39	0,001	
	Úhelná elektrárna	2,06	420,86	355,50	349,90	0,01	0,018	
	Distribuce elektřiny	0,02	4,09	0,00	0,00	0,00	0,000	
	Elektrolýza	0,55	112,37	0,00	0,00	0,00	0,000	
	Komprese	0,22	44,95	9,10	8,50	0,00	0,000	
	Celkem	3,19	651,72	423,20	382,00	1,40	0,019	
WTT	Vodík elektrolýzou (jaderná elektrárna)	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				1231,93 MJ 1,50 kg CO ₂
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	Jaderné palivo	0,96	196,13	6,30	5,90	0,01	0,008	
	Jaderná elektrárna	3,26	666,02	0,50	0,50	0,00	0,000	
	Distribuce elektřiny	0,01	2,04	0,00	0,00	0,00	0,000	
	Elektrolýza	0,55	112,37	0,00	0,00	0,00	0,000	
	Komprese	0,25	51,08	0,30	0,20	0,00	0,000	
	Celkem	5,03	1027,63	7,10	6,60	0,01	0,008	

Tab. 9 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u vodíku [5,6]

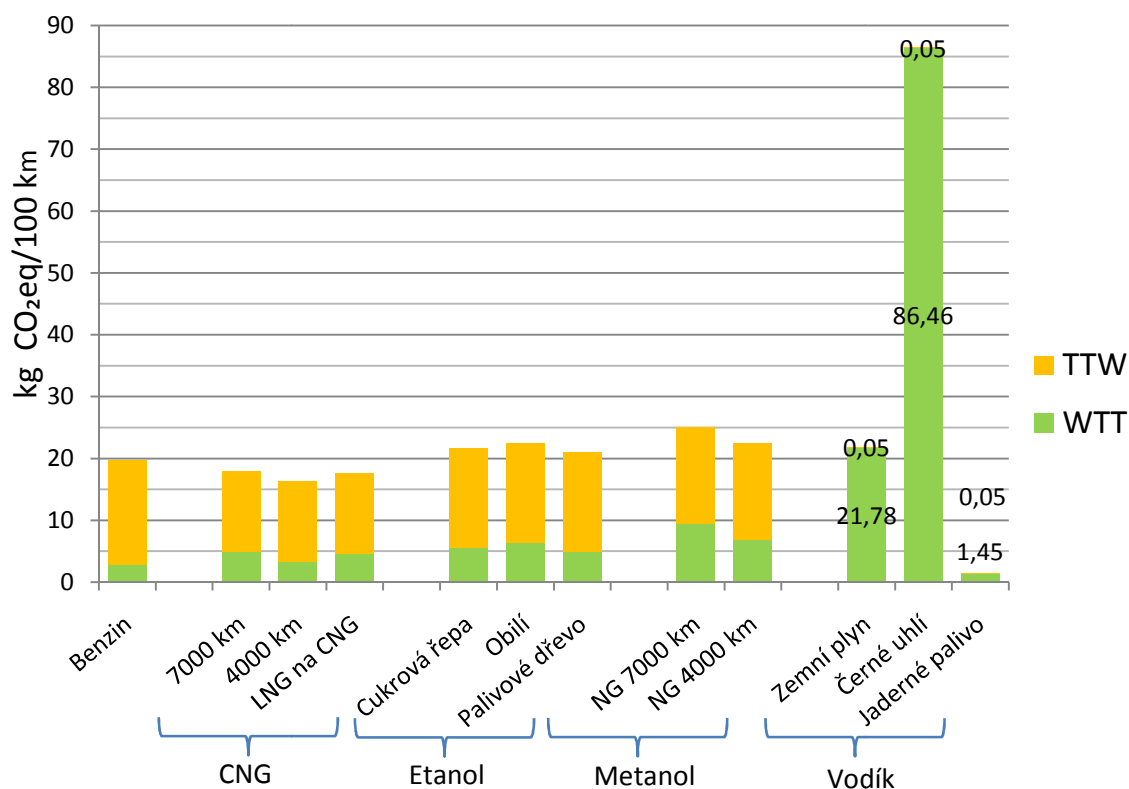
2.1.6 Zhodnocení paliv zážehového motoru

Energetická náročnost paliv byla přibližně stejná při měření ve vozidle (TTW) s výjimkou vodíku, kde byla hodnota menší a to hlavně díky nízkému obsahu motoru a jeho přeplňování oproti benzinu. Při výrobě samotného paliva se již hodnoty velmi odlišovaly a energeticky nejvýhodněji vyráběným palivem se stal benzin. Oproti tomu je energeticky nejnáročnější výroba vodíku vyráběného elektrolýzou, pomocí elektřiny z jaderné elektrárny. Hodnoty produkce skleníkových plynů se lišily jak při výrobě paliva, tak i při samotném spalování ve vozidle. Jako „nejekologičtější“ palivo můžeme označit CNG,

jelikož všechny tři možné varianty zpracování a distribuce tohoto paliva vyprodukují méně skleníkových plynů než benzin. Naopak nejhůře dopadla výroba vodíku z černého uhlí, která je celkově nevýhodná.



Graf 1 Energetická náročnost paliv u zážehového motoru.



Graf 2 Produkce skleníkových plynů paliv u zážehového motoru.

Při kritickém zhodnocení můžeme konstatovat, že jako nejvýhodnější paliva zážehového motoru jsou benzin a CNG. Bohužel ani jedno palivo nepochází z obnovitelných zdrojů. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v grafech 1 a 2.

2.2 Paliva pro vznětový motor

Sledována budou následující paliva: motorová nafta, DME, řepkový olej, FAME.

2.2.1 Motorová nafta

2.2.1.1 Výroba motorové nafty

Nejprve se vytěžená ropa musí zbavit nežádoucích pevných a kapalných příměsí a poté je převážena do rafinérií. Zde se ropa odsoluje a dále následuje atmosférická a vakuová destilace. Díky těmto procesům se ropa rozdělí na několik užších frakcí, které se již zpracovávají samostatně. Hlavními destilačními složkami, ze kterých se motorová nafta vyrábí, je petrolej a plynový olej. Je možné též naftu vyrábět pomocí dalších procesů i z jiných frakcí, jako je například mazut, ovšem jak již bylo řečeno, nejedná se o hlavní destilační složku. Destiláty se dále obvykle pomocí hydrogenační rafinace odsiřují a vznikající sulfan se zpracovává na síru. Takto vyrobená motorová nafta obvykle vyhovuje svým cetanovým číslem (CČ) normě a nevyžaduje z hlediska CČ žádnou další úpravu. V posledním kroku jsou do motorové nafty přidány přísady, které přispívají nízkoteplotním vlastnostem paliva a případně jiná aditiva upravující užité vlastnosti, jako jsou například přísady zlepšující mazání, potlačující pěnivost nafty či korozi a další. [19]

2.2.1.2 Vlastnosti motorové nafty

Jedná se o směs kapalných uhlovodíků, mající bezbarvý až nahnědlý vzhled. Motorové nafty prodávané v Evropské unii, musí splňovat jakostní požadavky dle normy, která definuje několik druhů nafty, lišících se hlavně svou hodnotou filtrovatelnosti. Jednotlivé druhy nafty se vyrábějí podle klimatických podmínek. To znamená, že se motorová nafta nerozděluje podle cetanového čísla, ale podle filtrovatelnosti za chladu (Cold Filter Plugging Point - CFPP), což je teplota, při které motorová nafta neproteče v určitém časovém limitu za předepsaných podmínek normovaným filtrem. V ČR je například nafta rozdělena do 3 tříd: B, D a F. Kde B je použitelné do 0 °C, D do -10 °C, F do -20 °C a při velmi nízkých teplotách se v zimě dodává i tzv. arktická nafta s filtrovatelností až do -32 °C. [19] Základní vlastnosti nafty jsou uvedeny v tab. 10.

Převažující uhlovodíky	Hustota (kg/m ³)	Výhřevnost (MJ/kg)	Teplota vznícení (°C)	CČ	Obsah uhlíku (%hm.)	Bod vzplanutí (°C)	Bod tuhnutí (°C)
C ₁₀ až C ₂₂	835	43	250	nad 51	86,2	nad 55	0 až -32

Tab. 10 Základní vlastnosti motorové nafty [6,9]

2.2.1.3 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u motorové nafty

TTW

Měření probíhalo na vznětovém motoru s přímým vstřikem paliva. Kvůli splnění minimálních výkonnostních kritérií, byl motor přeplňován a jeho obsah zvýšen na 1,9 l. Díky tomu byla celková hmotnost vozidla navýšena o 67 kg oproti benzínu.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 11.

WTT

Stejně jako u benzínu budeme výrobu motorové nafty uvažovat z ropy z Blízkého východu a nebudou zde uvažovány dodávky jiné. Výsledky naměřených hodnot motorové nafty budou brány jako referenční hodnoty pro vznětové motory a budou porovnávány s ostatními alternativními palivy. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 11.

TTW	Vlastnosti vozidla		Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)			
	Obsah motoru	1,9l			CO ₂	134,60		
	Výkon	74kW	Objem	5,10l	CH ₄	0,30		
	Hmotnost motoru	145kg	Hmotnost	4,26kg	N ₂ O	3,00		
	Hmotnost vozidla	1248kg	Energie	183,1MJ	Celkem	137,90		
WTT	Motorová nafta z ropy		Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů			
			MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f
	Těžba a zpracování		0,03	5,49	3,70	3,70	0,00	0,00
	Transport		0,01	1,83	0,90	0,90	0,00	0,00
	Rafinace		0,10	18,31	8,60	8,60	0,00	0,00
	Distribuce a prodej		0,02	3,66	1,00	1,00	0,00	0,00
	Celkem		0,16	29,30	14,20	14,20	0,00	0,00
								212,40 MJ 16,39 kg CO₂

Tab. 11 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u motorové nafty [5,6]

2.2.2 Dimethyléter

2.2.2.1 Výroba dimethyléteru

V současné době se Dimethyléter (DME) vyrábí z metanolu (viz kapitola 2.1.4) a to katalytickou dehydratací metanolu, probíhající podle rovnice:



Jako katalyzátor dehydratace metanolu na dimethyléter je používána γ -alumina samotná nebo nasycená kyselinou fosforečnou. Metanol přehřátý na 300 °C se dávkuje do reaktoru naplněného tvarovou aluminou, která může být případně zředěna inertními kuličkami (např. skleněnými pro lepší odvod tepla). Reakční směs se odvádí ze spodní části reaktoru při teplotě max. 400 °C. Výsledný reakční produkt získaný z těchto podmínek obsahuje 57,5 % dimethyléteru, 20 % metanolu a 22,5 % vody. [13]

2.2.2.2 Vlastnosti dimethyléteru

DME je bezbarvý plyn chloroformového zápachu, hoří slabě luminiskujícím plamenem, není jedovatý, mírně dráždí dýchací cesty a působí narkoticky. Se vzduchem, kyslíkem, chlórem nebo chlorovodíkem tvoří výbušnou směs. Je agresivní vůči pryžím a plastům.

Díky vysokému cetanovému číslu je DME vhodným palivem pro vznětové motory. Výrazné rozdílné vlastnosti oproti motorové naftě: nízký bod varu DME a tedy nutnost skladování v nádržích pod tlakem, menší měrná hmotnost a nízký obsah energie v objemové jednotce kapaliny DME, velká závislost měrné hmotnosti na teplotě, nízká viskozita, nízká mazací schopnost vyžadující mazivostní přísady, vysoká stlačitelnost. Základní vlastnosti DME jsou uvedeny v tab. 12. [20]

Chemický vzorec	Hustota (kg/m^3)	Výhřevnost (MJ/kg)	Teplota zapálení ($^{\circ}\text{C}$)	CČ	Obsah uhlíku (%hm.)	Bod varu ($^{\circ}\text{C}$)	Viskozita (cP)
$\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$	670	28,4	~240	55-60	52,2	-24,9	0,15

Tab. 12 Základní vlastnosti Dimethyléteru [6,20]

2.2.2.3 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u dimetyléteru

TTW

Měření probíhalo na vznětovém motoru s přímým vstřikem paliva, který měl stejné parametry jako motor naftový. Díky tlakové ocelové nádrži na DME o obsahu 60 l se zvýšila hmotnost vozidla o 28 kg (nádrž 15 kg a palivo 13 kg).

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 14.

WTT

Uvažována bude doprava zemního plynu vedeného ze vzdálených zdrojů (4000 km a 7000 km) do Evropy, kde se bude ze zemního plynu dimetyléter vyrábět a dále distribuovat. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 14.

TTW	Vlastnosti vozidla		Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)		
	Obsah motoru	1,9l			CO ₂	123,30	
	Výkon	74kW	Objem	9,62l	CH ₄	0,30	
	Hmotnost motoru	145kg	Hmotnost	6,45kg	N ₂ O	3,00	
	Hmotnost vozidla	1276kg	Energie	183,1MJ	Celkem	126,60	
WTT	DME z NG (7000 km)	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů			
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f
	Těžba a zpracování NG	0,04	7,32	5,40	1,90	0,14	0,000
	Transport NG	0,28	51,27	21,20	14,40	0,26	0,001
	Distribuce NG	0,01	1,83	0,80	0,80	0,00	0,000
	Výroba DME	0,41	75,07	10,60	10,50	0,00	0,000
	Distribuce a prodej DME	0,03	5,49	1,70	1,60	0,00	0,000
	Celkem	0,77	140,99	39,70	29,20	0,40	0,001
WTT	DME z NG (4000 km)	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů			
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f
	Těžba a zpracování NG	0,04	7,32	5,00	1,70	0,13	0,000
	Transport NG	0,13	23,80	10,60	6,80	0,15	0,000
	Distribuce NG	0,01	1,83	0,80	0,80	0,00	0,000
	Výroba DME	0,41	75,07	10,60	10,50	0,00	0,000
	Distribuce a prodej DME	0,03	5,49	1,70	1,60	0,00	0,000
	Celkem	0,62	113,52	28,70	21,40	0,28	0,000

WTW (spotřeba/100km)

324,09 MJ

19,93 kg CO₂

296,62 MJ

17,91 kg CO₂

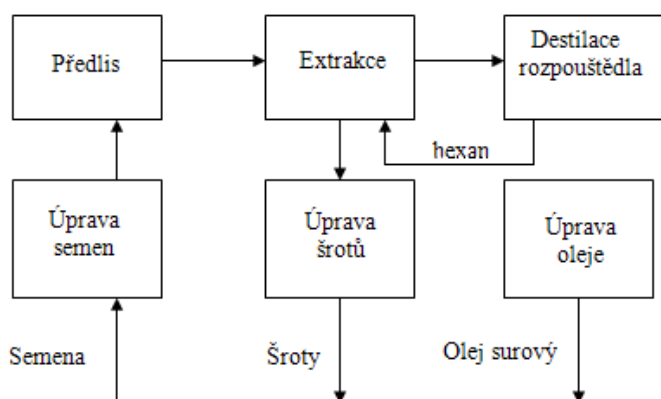
Tab. 14 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u DME [5,6]

2.2.3 Řepkový olej

2.2.3.1 Výroba řepkového oleje

Při extrakci olejnatých semen se používá systém předlis – extrakce, kde se vstupní semena upravují vložkováním a tepelnou kondicionací. Lisují se na obsah oleje cca 18 – 20 % a následně extrahují rozpouštědlem (hexanem). Rozpouštědlo se z oleje odstraní destilací a recyklací se vrací zpět do procesu. Získaný olej se filtruje. Výťažnost je cca 98 %. Čistý rostlinný olej lze teoreticky použít jako palivo i přímo bez úprav, ovšem problémem jsou některé nevhodné vlastnosti, jako je například viskozita.

Schéma výroby surového oleje systémem předlis – extrakce je uvedeno na obr. 6. [4,22]



Obr. 6 Schéma výroby surového oleje systémem předlis – extrakce [22]

2.2.3.2 Vlastnosti řepkového oleje

V porovnání s motorovou naftou je výhodou řepkového oleje jeho dobrá biologická odbouratelnost, nesnadná zápalnost z hlediska požární bezpečnosti a technicky nenáročná výroba. Oproti tomu je nevýhodou například jeho tvorba úsad v palivovém systému a znehodnocování motorového oleje polymerací rostlinného oleje, která vyžaduje kratší výměnné lhůty výměny oleje. Voda v bionaftě podporuje růst mikroorganismů a tvorbu kyselých kalů. Při déletrvajícím odstavení vozidla dochází k zalepení funkčních součástí palivového příslušenství. Bionafta též působí nepříznivě na těsnící materiály (pryže, barvy, laky). [23,24]

Základní vlastnosti řepkového oleje jsou uvedeny v tab. 16.

Hustota (kg/m ³)	Výhřevnost (MJ/kg)	Teplota vzplanutí (°C)	CČ	Kin. viskozita při 40 °C (mm ² .s ⁻¹)	Obsah vody (%)	Obsah síry (mg/kg)
915	36	246	38	35	≤ 0,075	≤ 10

Tab. 16 Základní vlastnosti řepkového oleje [23,25]

2.2.3.3 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u řepkového oleje

TTW

Charakteristické vlastnosti vozidla byly totožné s vozidlem na motorovou naftu (viz 2.2.1.3). [5]

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 17.

WTT

Jako palivo vznětového motoru byl použit hydrogenovaný řepkový olej. Hydrogenace je katalytický proces, při kterém se nežádoucí složky olejů (vyšší aromáty a sloučeniny obsahující heteroatomy) neodstraňují, ale přeměňují se na žádoucí složky reakcemi v přítomnosti vodíku. Šrot se využil jako krmivo pro zvířata. [5,26]

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 17.

TTW	Vlastnosti vozidla		Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)			
	Obsah motoru	1,9l			CO ₂	139,60		
	Výkon	74kW	Objem	5,59l	CH ₄	0,30		
	Hmotnost motoru	145kg	Hmotnost	4,98kg	N ₂ O	3,00		
	Hmotnost vozidla	1248kg	Energie	183,1MJ	Celkem	142,90		
WTT	Hydrogenovaný řepkový olej	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	Kultivace	0,27	49,44	47,99	16,71	0,03	0,102	
	Sušení	0,02	3,66	0,71	0,66	0,00	0,000	
	Silniční doprava 50 km	0,02	3,66	0,29	0,29	0,00	0,000	
	Výroba řepkového oleje	0,57	104,37	-13,98	-6,68	0,00	-0,025	
	Hydrogenace	0,15	27,47	6,69	6,18	0,02	0,000	
	Distribuce a prodej	0,02	3,66	1,15	1,11	0,00	0,000	
	Celkem	1,05	192,26	42,85	18,27	0,05	0,077	

WTW (spotřeba/100km)

375,36 MJ

22,14 kg CO₂

Tab. 17 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u řepkového oleje [5,6]

2.2.4 FAME (metylester mastných kyselin)

2.2.4.1 Výroba FAME

K výrobě FAME se používají rostlinné oleje (řepkový olej viz 2.2.3) a tuky. Metylestery mastných kyselin lze vyrábět dvěma způsoby a to buď přímou esterifikací mastných kyselin metanolem a nebo přeesterifikací přírodních olejů a tuků metanolem.

Při esterifikaci se provádějí reakce s bezvodým metanolem při teplotách nad 110 °C, zpravidla v přítomnosti kyselých katalyzátorů, za normálního nebo zvýšeného tlaku.

Přeesterifikace probíhá v různých technologických modifikacích, kde bezvodý metanol reaguje s olejem v přítomnosti alkalických homogenních katalyzátorů nebo heterogenních katalyzátorů, při normální nebo zvýšené teplotě, v jednom nebo několika stupních. Po reakci přeesterifikace se reakční směs rozdělí na dvě nesmíselné fáze. Esterová fáze se neutralizuje, promývá a zbavujeme metanolu a vody, čímž se získá FAME. Z druhé tzv. glycerinové fáze se po zbavení metanolu a působením minerální kyseliny získá surový glycerin a mastné kyseliny. [22]

2.2.4.2 Vlastnosti FAME

Výhodou FAME je jeho vysoké cetanové číslo, vhodné mazací schopnosti a dobrá biologická odbouratelnost v případě úniku do země.

Oproti tomu má řadu nevýhod, jako je například vznik úsad při skladování a tvorbu viskózních směsí, které mohou ucpávat palivový systém. V případě výskytu vody ve FAME, se vytvářejí kyselé kaly nebo může dojít za určitých podmínek k polymerizaci. Při déletrvajícím odstavení vozidla se zalepují funkční části palivového příslušenství. Díky rychlejšímu znehodnocování motorového oleje, je nutná jeho častější výměna. Působí negativně na těsnící materiály palivového příslušenství, pryžové hadice a na některé barvy a laky. [24]

Základní vlastnosti FAME (MEŘO) jsou uvedeny v tab. 18.

Hustota (kg/m ³)	Výhřevnost (MJ/kg)	Teplota vznícení (°C)	CČ	Obsah uhlíku (%)	Bod tuhnutí	Viskozita při 40°C mm ² /s
870 - 890	38,5	300	~58	77	5 až -20	3,5 až 5,0

Tab. 18 Základní vlastnosti FAME (MEŘO) [9]

2.2.4.3 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u FAME

TTW

Charakteristické vlastnosti vozidla byly totožné s vozidlem na motorovou naftu (viz 2.2.1.3). [6] Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 19.

WTI

Jak již bylo popsáno výše, FAME získáváme transesterifikací triglyceridů obsažených v olejích nebo tucích. V našem případě bude FAME vyrobeno z řepkového oleje a bude se tedy jednat o MEŘO. Glycerin, který vznikne z výroby MEŘO jako vedlejší produkt, se využije v chemickém průmyslu a šrot bude použit jako krmivo pro zvířata.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 19. [5]

TTW	Vlastnosti vozidla		Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)			
	Obsah motoru	1,9l			CO ₂	139,60		
	Výkon	74kW	Objem	5,59l	CH ₄	0,30		
	Hmotnost motoru	145kg	Hmotnost	4,98kg	N ₂ O	3,00		
	Hmotnost vozidla	1248kg	Energie	183,1MJ	Celkem	142,90		
WTW	FAME z řepkového oleje		Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů			
			MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f
	Kultivace		0,27	49,44	48,65	16,90	0,03	0,104
	Sušení		0,02	3,66	0,72	0,70	0,00	0,000
	Silniční doprava 50 km		0,02	3,66	0,30	0,30	0,00	0,000
	Výroba řepkového oleje		0,58	106,20	-14,17	-6,80	0,00	-0,025
	Esterifikace		0,17	31,13	4,75	4,20	0,02	0,000
	Distribuce a prodej		0,02	3,66	1,27	1,20	0,00	0,000
	Celkem		1,08	197,75	41,52	16,50	0,05	0,079

WTW (spotřeba/100km)

380,85 MJ

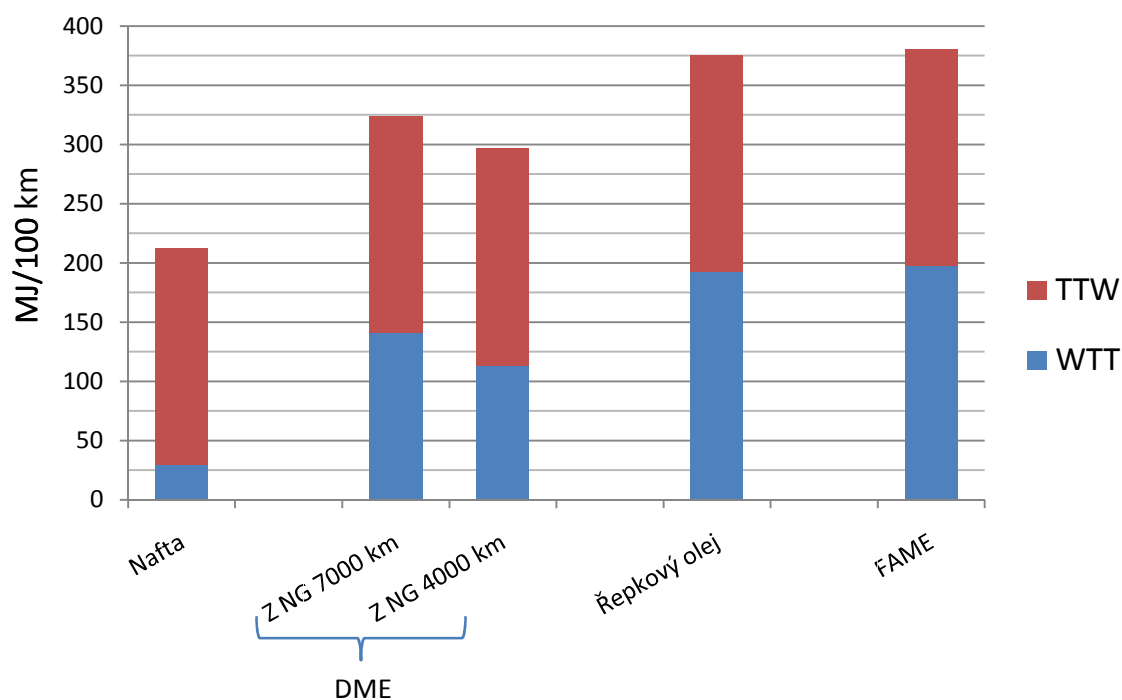
21,89 kg CO₂

Tab. 19 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u FAME [5,6]

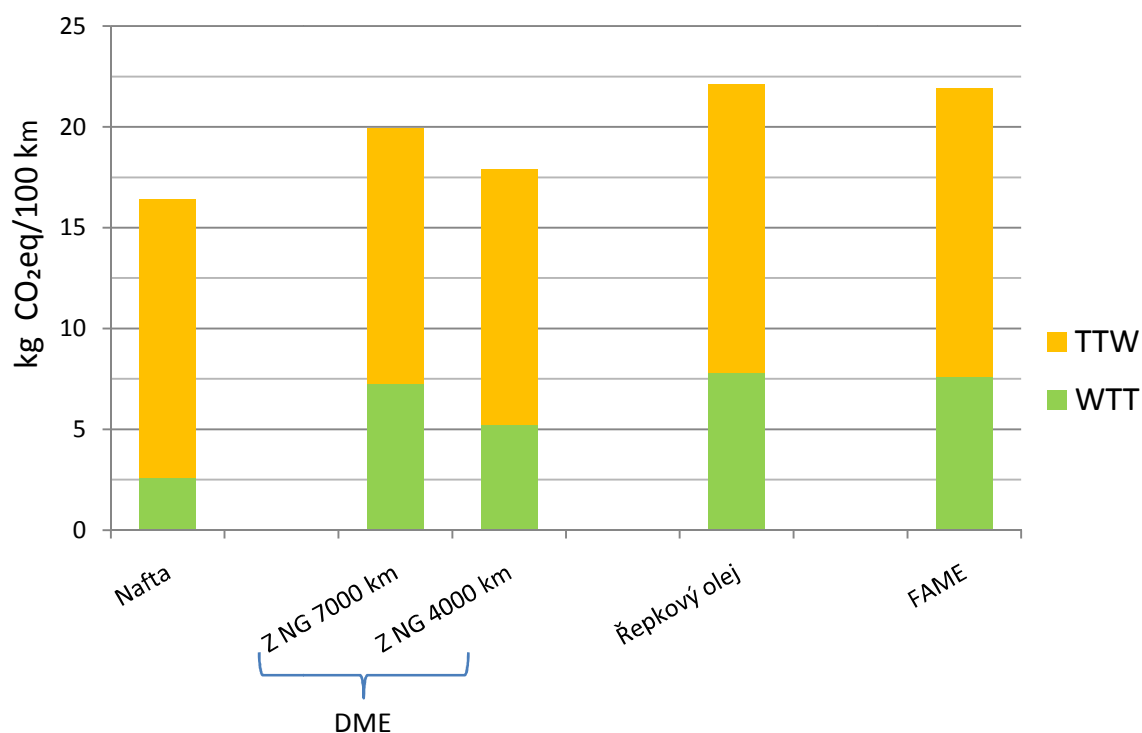
2.2.5 Zhodnocení paliv vznětového motoru

Energetická náročnost vozidel se vznětovým motorem byla u všech sledovaných paliv stejná, rozdílné hodnoty byly naměřeny až teprve při výrobě jednotlivých paliv. Energeticky nejvýhodnějším palivem se stala motorová nafta a naopak nejnáročnějším palivem bylo FAME a řepkový olej.

Celková produkce skleníkových plynů se lišila v řádech kilogramů na ujetou vzdálenost 100 km. Nejméně škodlivých plynů vyprodukovala opět motorová nafta a nejvíce řepkový olej společně s FAME.



Graf 3 Energetická náročnost paliv u vznětového motoru.



Graf 4 Produkce skleníkových plynů paliv u vznětového motoru.

Z uvedených údajů vyplývá, že z těchto 4 zadaných paliv je motorová nafta ekonomicky i ekologicky nejvýhodnější a naopak nejhůře dopadl řepkový olej a FAME. Stejně jako u zážehových motorů, nepochází nejvýhodnější palivo z obnovitelných zdrojů.

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v grafech 3 a 4.

2.3 Pohon elektromotorem

Sledován bude elektromotor s palivovými články a elektromotor napájený z akumulátoru.

2.3.1 Elektromotor s palivovými články

2.3.1.1 Základní charakteristika palivového článku

Palivový článek je zařízení, které přeměňuje chemickou energii kontinuálně přiváděného paliva na energii elektrickou. Palivem bývá vodík, ale jako nosič energie může být například i metanol nebo dokonce benzin či motorová nafta. V našem případě se budeme zabývat použitím vodíku a kyslíku jako reakčních plynů v palivových článcích, kde se konají na příslušných elektrodách reakce opačné, reakcím probíhající při elektrolyze vody. Existuje několik druhů vodíkových článků, které se liší zejména typem elektrolytu. V dnešní době pro nás nejvíce perspektivní palivové články pro použití v silniční dopravě jsou označovány pod zkratkou PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell). Elektrolytem je tzv. iontoměničová membrána. Je to tenká vrstva připomínající igelitovou fólii, která v článku slouží jako výborný vodič kationtů vodíku H^+ a zároveň zcela zabraňuje průchodu reakčních plynů.

Elektrochemické reakce probíhají v pórovitých elektrodách, ve kterých se jako katalyzátor užívá např. platina. Vznik elektrického proudu v PEMFC probíhá tak, že na anodě dochází k rozkladu molekul vodíku na kationty vodíku a elektrony: $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$.

Kationty vodíku procházejí iontoměničovou membránou a elektrony vnějším obvodem, kde konají práci. Následně jsou přiváděny zpět na katodu, kde reagují s kationty vodíku a s kyslíkem za vzniku vody: $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$.

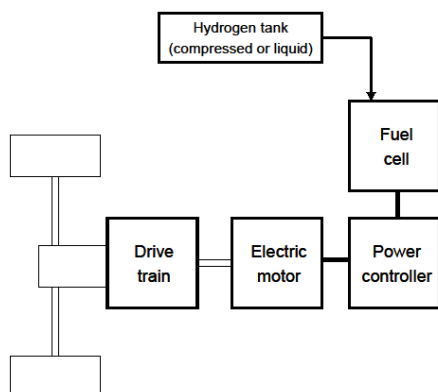
Tyto články mají relativně vysokou účinnost (53 – 58 %), pevný elektrolyt ve formě membrány je také méně náročný na údržbu (není třeba kontrolovat správnou koncentraci elektrolytu) a článek pracuje za poměrně nízkých teplot (50 -100 °C). [27]

Výroba a vlastnosti vodíku jsou popsány v kapitole 2.1.5.

2.3.1.2 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u elektromotoru s palivovými články

TTW

Vozidlo poháněné elektromotorem o výkonu 75 kW dle obr. 7 bylo oproti benzinovému pohonu o 183 kg hmotnější a to díky palivovým článkům, elektrickému motoru a palivové nádrži. Ovšem výhodou tohoto pohonu byla celková větší účinnost přenosu energie na kola. [6] Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 20.



Obr. 7 Pohon elektromotoru palivovými články [6]

WTI

Jak bylo uvedeno výše, palivem pro palivové články bude vodík. Tři možné varianty výroby vodíku byly již popsány u zážehového motoru a budou použity i zde (viz kapitola 2.1.5.3). [5] Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 20.

								WTW (spotřeba/100km)
TTW	Vlastnosti vozidla		Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)			
	Výkon	75kW			CO ₂	0,00		
	Hmot. Elek. motoru	73kg	Objem	3,6l	CH ₄	0,00		
	Hmot. pal. článků	150kg	Hmotnost	0,96kg	N ₂ O	0,00		
	Hmotnost vozidla	1364kg	Energie	114,6MJ	Celkem	0,00		
WTT	Vodík ze zemního plynu	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	NG těžba a zpracování	0,04	4,58	5,20	1,80	0,13	0,000	
	NG doprava	0,26	29,80	20,10	13,70	0,25	0,001	
	NG distribuce	0,01	1,15	0,80	0,70	0,00	0,000	
	Výroba vodíku	0,32	36,67	71,40	73,70	0,02	0,000	
	Zplynování vodíku	0,22	25,21	9,10	8,50	0,02	0,000	
	Distribuce a komprese							
	Celkem	0,85	97,41	106,60	98,40	0,42	0,001	
WTT	Vodík elektrolýzou (černé uhlí)	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	Zásoba uhlí	0,34	38,96	58,60	23,60	1,39	0,001	
	Úhelná elektrárna	2,06	236,08	355,50	349,90	0,01	0,018	
	Distribuce elektřiny	0,02	2,29	0,00	0,00	0,00	0,000	
	Elektrolýza	0,55	63,03	0,00	0,00	0,00	0,000	
	Komprese	0,22	25,21	9,10	8,50	0,00	0,000	
	Celkem	3,19	365,57	423,20	382,00	1,40	0,019	
	WTT	Vodík elektrolýzou (jaderná elektrárna)	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů			
MJ/MJ _f			MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
Jaderné palivo		0,96	110,02	6,30	5,90	0,01	0,008	
Jaderná elektrárna		3,26	373,60	0,50	0,50	0,00	0,000	
Distribuce elektřiny		0,01	1,15	0,00	0,00	0,00	0,000	
Elektrolýza		0,55	63,03	0,00	0,00	0,00	0,000	
Komprese		0,25	28,65	0,30	0,20	0,00	0,000	
Celkem		5,03	576,44	7,10	6,60	0,01	0,008	
		212,01 MJ 12,22 kg CO ₂						
		480,17 MJ 48,50 kg CO ₂						
		691,04 MJ 0,81 kg CO ₂						

Tab. 20 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u elektromobilu s palivovými články. [5,6]

2.3.2 Elektromotor napájený z akumulátoru

2.3.2.1 Zákl. vlastnosti elektromotoru napájeného z akumulátoru

Jde o dopravní prostředek poháněný čistě elektřinou, respektive elektromotorem napájeným baterií. Elektromotor napájený z akumulátoru jako jediný v této studii nesplňuje požadavky na minimální výkonnostní kritéria, která byla stanovena pro veškeré pohony. To znamená, že například nedosahuje maximální rychlosti 180 km/h a současně

minimálního dojezdu 600 km bez dobítí akumulátoru. Bohužel není technicky možné docílit těchto kritérií a to hlavně z důvodů malých kapacit akumulátorů. Vlastnosti pohonu jsou tedy pro většinu uživatelů zatím nedostatečné. Vyšší pořizovací cena elektromobilu oproti vozidlům na kapalná paliva též rozvoji nepřispívá. Ovšem mezi výhody můžeme zařadit nulové emise při provozu vozidla (TTW), tichý chod, možnost vyvinout plný krouticí moment již při stojícím vozidle a vyšší účinnost elektromotoru pohybující se okolo 90 %.

2.3.2.2 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u elektromotoru napájeného akumulátorem

TTW

Tento pohon nebyl měřen dle simulace pomocí nástroje ADVISOR, který byl uplatněn pro všechny řídicí jednotky a zároveň se zde nepoužil zkušební test škodlivých výfukových plynů a energetické náročnosti podle evropského jízdního cyklu NEDC. Měření probíhalo ve zkušebně TÜV dle metodiky SORT 2 (kombinovaný cyklus měření, odvíjející se od vlastností vozidla). Elektromobil je vybaven střídavým elektromotorem s výkonem 65 kW s 300 V měničem, rekuperací brzděné energie a akumulátory LiFeYPO₄, které jsou řízeny inteligentním systémem Battery management. Vozidlo je přibližně o 350 kg hmotnější ve srovnání s ostatními a to hlavně díky palivovým článkům, vážícím 310 kg.

Naměřená spotřeba energie dle již zmiňované metodiky SORT 2 byla 15,55 kWh/100 km. K této hodnotě musíme ještě připočítat účinnosti nabíjení a vybíjení akumulátoru LiFeYPO₄, které v obou případech činí přibližně 95 % (celkem: $0,95 \times 0,95 = 0,903$). Tedy celková spotřeba elektromobilu činí 17,22 kWh/100 km (62 MJ/100 km). Dojezd je 204 km a maximální rychlost 130 km/hod. [28]

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 21.

WTT

Výrobu elektřiny, kterou se akumulátor dobíjí, budeme uvažovat ze tří zdrojů:

Elektřina ze zemního plynu – zemní plyn je hojně používán k výrobě elektrické energie a odhaduje se, že v nadcházejícím desetiletí bude produkce elektřiny z plynu ještě stoupat. Výroba energie probíhá pomocí kombinované paroplynové turbíny. Jeho dodávky budou uvažovány potrubím vzdáleným 7000 km.

Elektřina z černého uhlí – jedná se o standardně používaný zdroj energie pro výrobu elektřiny a umožňuje značný rozsah možných technologií výroby s širokou variabilitou.

Elektřina z jaderné energie – s touto možností výroby elektřiny se počítá hlavně v budoucnu, kdy již budou z velké části nebo zcela vyčerpány neobnovitelné zdroje.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 21.

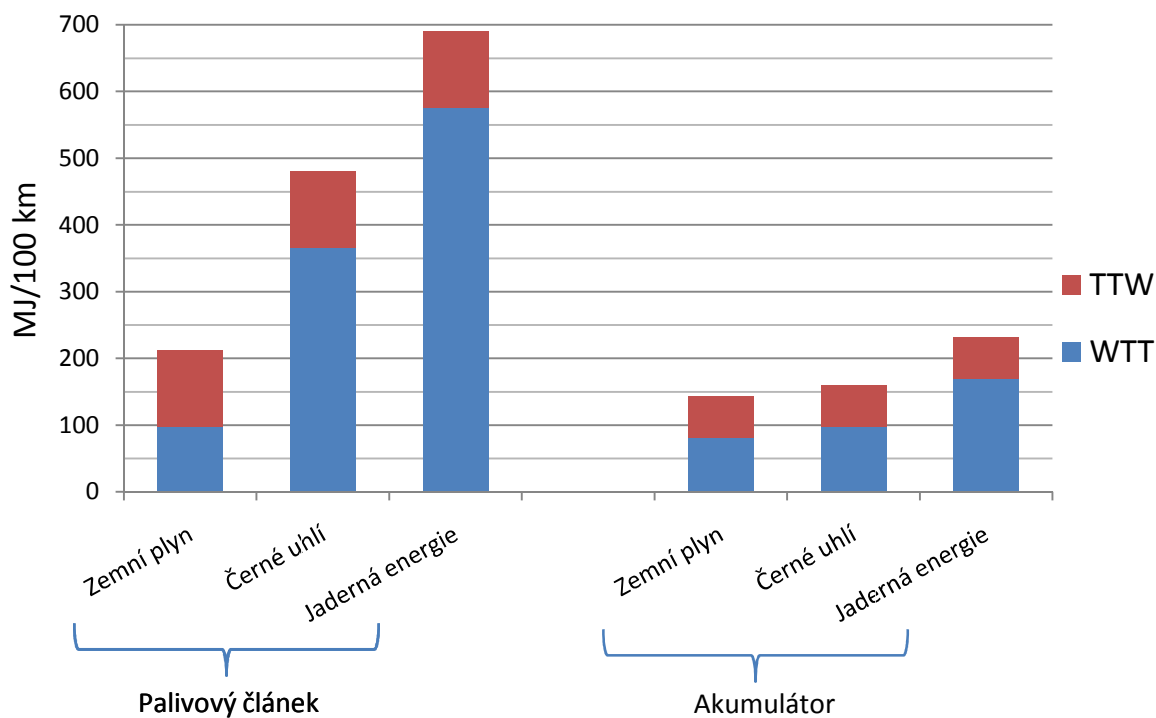
TTW	Vlastnosti vozidla	Energetická náročnost (Spotř. paliva/100 km)		Produkce skleníkových plynů (g CO ₂ eq/km)				WTW (spotřeba/100km)
TTW	Výkon 65kW			CO ₂	0,00			
	Hmot. Elek. motoru 69kg	Objem	-	CH ₄	0,00			
	Aku. LiFePO ₄ 310kg	Hmotnost	-	N ₂ O	0,00			
	Hmotnost vozidla 1620kg	Energie	62MJ	Celkem	0,00			
WTT	Elektřina ze zemního plynu	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				142,60 MJ 8,74 kg CO₂
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	NG těžba a zpracování	0,05	3,10	7,20	2,50	0,19	0,000	
	NG doprava	0,36	22,32	28,10	19,10	0,35	0,001	
	NG distribuce	0,02	1,24	1,10	1,00	0,00	0,000	
	Výroba elektřiny	0,84	52,08	104,60	102,90	0,01	0,005	
	Distribuce elektřiny	0,03	1,86	0,00	0,00	0,00	0,000	
	Celkem	1,30	80,60	141,00	125,50	0,55	0,006	
WTT	Elektřina z černého uhlí	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				160,58 MJ 16,68 kg CO₂
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	Zásoba uhlí	0,22	13,64	38,10	15,30	0,90	0,001	
	Úhelná elektrárna	1,34	83,08	230,90	227,30	0,00	0,012	
	Distribuce elektřiny	0,03	1,86	0,00	3,00	0,00	0,000	
	Celkem	1,59	98,58	269,00	245,60	0,90	0,013	
WTT	Elektřina z jaderné energie	Energetická náročnost		Produkce skleníkových plynů				231,88 MJ 0,27 kg CO₂
		MJ/MJ _f	MJ/100km	g CO ₂ eq/MJ _f	g CO ₂ /MJ _f	g CH ₄ /MJ _f	g N ₂ O/MJ _f	
	Jaderné palivo	0,62	38,44	4,07	3,80	0,01	0,000	
	Jaderná elektrárna	2,09	129,58	0,30	0,30	0,00	0,000	
	Distribuce elektřiny	0,03	1,86	0,00	0,00	0,00	0,000	
	Celkem	2,74	169,88	4,37	4,10	0,01	0,000	

Tab. 21 Energetická náročnost a produkce skleníkových plynů u elektromobilu s akumulátorem. [5,27]

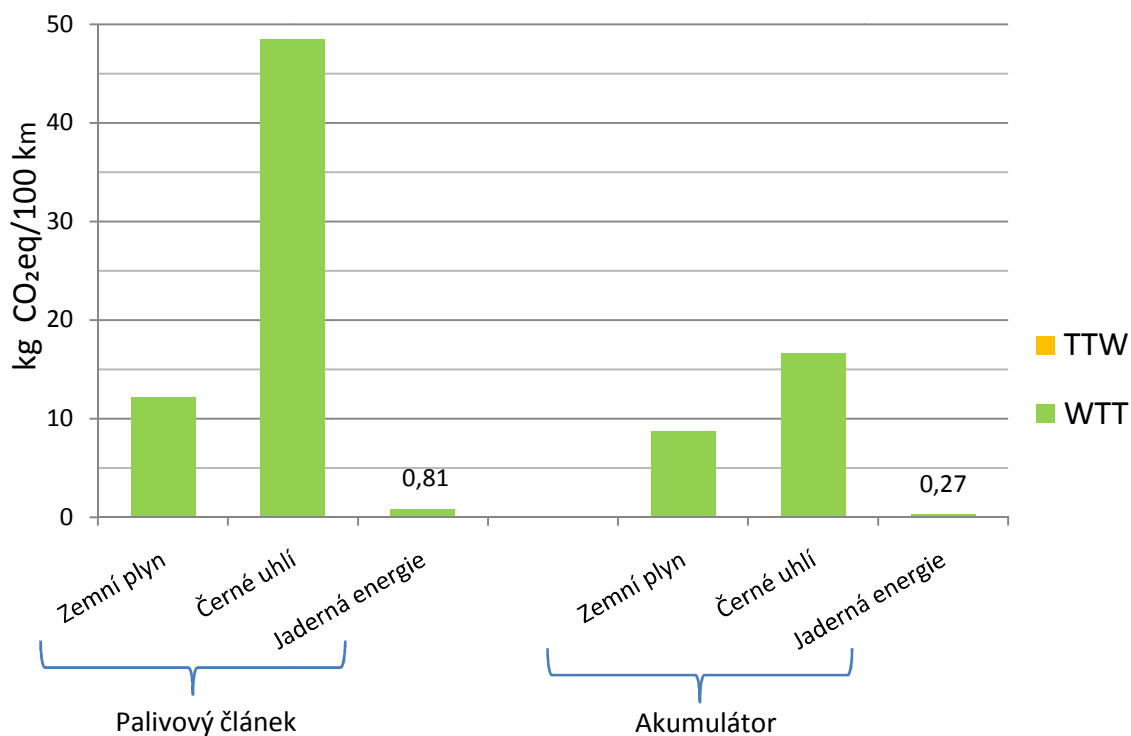
2.3.3 Zhodnocení pohonu elektromotoru s palivovými články a elektromotoru napájeným akumulátorem

U produkce skleníkových plynů jsou nízké hodnoty dány tím, že elektromobil ve fázi TTW žádné škodlivé emise neprodukuje. Energetická náročnost elektromobilu též vykazuje příznivé výsledky a to hlavně díky vysoké účinnosti elektromotoru (cca 90 %), která je oproti účinnosti spalovacího motoru přibližně o 50 až 60 % vyšší. Velmi výhodným zdrojem se jeví zemní plyn. Z těchto dvou druhů pohonu je celkově lepší elektromotor s akumulátorem, který vykazuje ze všech alternativních paliv nejlepší výsledky z celé studie.

Výsledné hodnoty jsou uvedeny v grafech 5 a 6.



Graf 5 Energetická náročnost u elektromotoru s palivovými články a elektromotoru napájeným akumulátorem.



Graf 6 Produkce skleníkových plynů u elektromotoru s palivovými články a elektromotoru s akumulátorem.

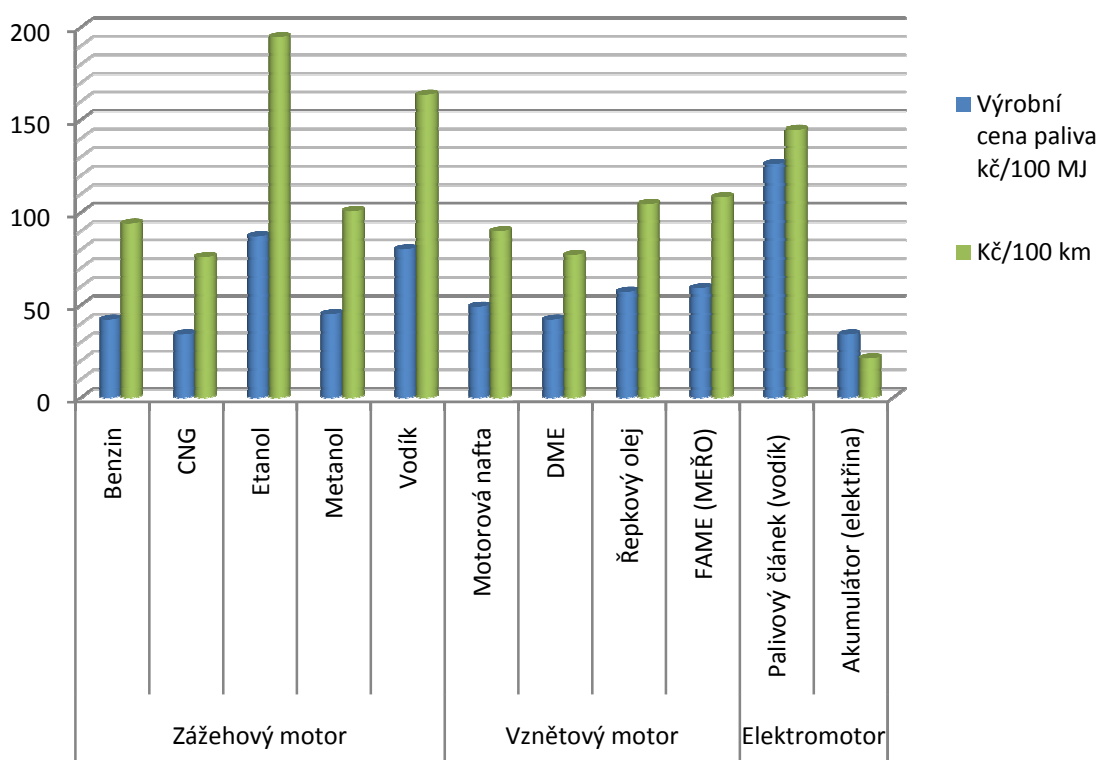
3 Finanční náklady na spotřebované palivo

Důležitým faktorem pro konkurenceschopnost samotného paliva je jeho výrobní cena. Ta udává skutečné náklady paliva, jelikož není zatížena DPH, spotřební daní nebo marží, kterou si účtují například čerpací stanice. Tyto finanční náklady jsou závislé na nákupní ceně suroviny, ze které se palivo vyrábí, a tudíž bývají dosti nestálé. Například výroba etanolu z obilí je závislá na dané roční úrodě samotného obilí a tedy na klimatických podmínkách v oblasti pěstování plodiny.

Uvedená data v tab. 22 a následný graf 7 znázorňuje pouze přibližné ceny paliv, jelikož prodejci většinou nechtějí zveřejňovat, kolik činí výrobní náklady na paliva a z jakého zdroje jsou vyrobena. Cílem této kapitoly je nastínit finanční náklady paliva na ujetou vzdálenost 100km dle zkušebního testu NEDC.

		Výrobní cena paliva Kč/MJ	Spotřeba paliva MJ/100 km	Kč/100 km
Zážehový motor	Benzin	0,42	223,5	93,87
	CNG	0,34	222,8	75,75
	Etanol	0,87	223,5	194,45
	Metanol	0,45		100,58
	Vodík	0,80	204,3	163,44
Vznětový motor	Motorová nafta	0,49	183,1	89,72
	DME	0,42		76,90
	Řepkový olej	0,57		104,37
	FAME (MEŘO)	0,59		108,03
Elektromotor	Palivový článek (vodík)	1,26	114,6	144,40
	Akumulátor (elektrina)	0,34	62,0	21,08

Tab. 22 Finanční náklady na spotřebované palivo [29,30,31,32,33,34].

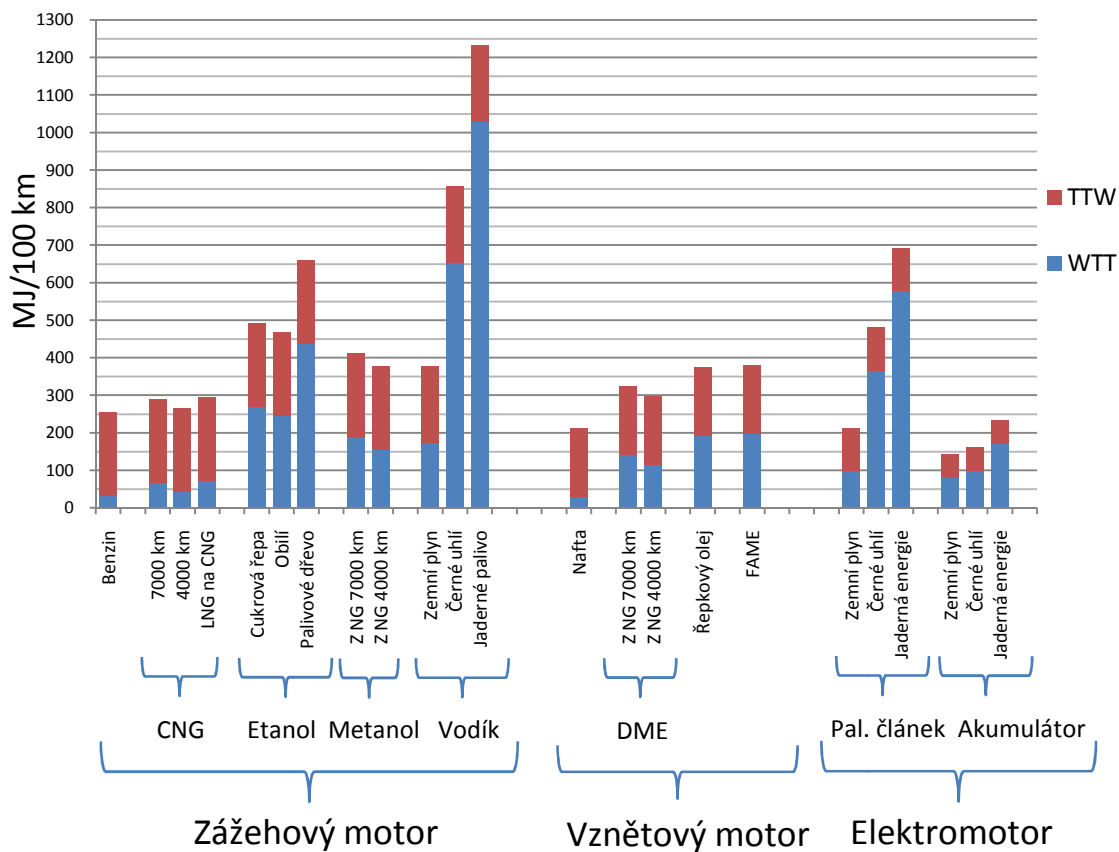


Graf 7 Finanční náklady na spotřebované palivo.

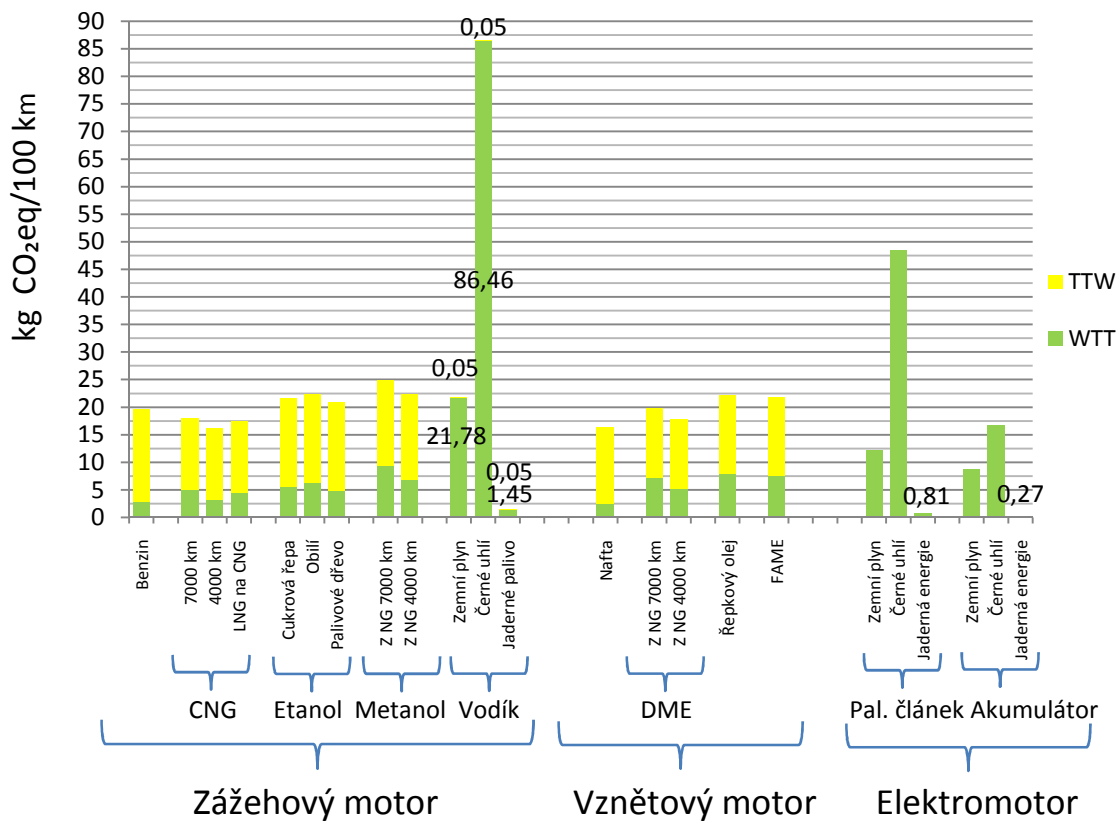
4 ZÁVĚR

Hlavním argumentem pro používání alternativních motorových paliv jsou ekologické důvody a neobnovitelnost doposud masivně používaných zdrojů. Při posuzování paliv, je nutné znát dva hlavní parametry, energetickou náročnost a produkci skleníkových plynů. Tyto dvě hodnoty nám nejbližší ukazují vhodnost daného paliva či pohonu. Výsledné grafy všech hodnocených paliv jsou uvedeny jako graf 8 a graf 9 a podle těchto dat můžeme konstatovat, že nejméně energeticky náročným pohonem je elektromotor napájený akumulátorem a to především při výrobě elektrické energie ze zemního plynu. Dalšími vhodnými palivy je elektromotor s palivovými články, kde je vodík vyroben opět ze zemního plynu, motorová nafta, benzin a také CNG vyráběné ze 4000 km vzdáleného zdroje. Ostatní paliva jsou již značně náročnější a nejsou již tak výhodná.

Nejnáročnějším palivem se stal vodík vyrobený z jaderného paliva, který přesahuje hodnotu 1200 MJ/100 km, což je skoro 5x více než u výroby benzínu.



Graf 8 Celková energetická náročnost u hodnocených paliv.



Graf 9 Celková produkce skleníkových plynů u hodnocených paliv.

Produkce skleníkových plynů vyzněla velmi příznivě opět pro elektromotor napájený z akumulátoru, který má výrazně nižší hodnoty, hlavně u elektrické energie vyrobené z jaderného paliva a též velmi příznivě dopadla výroba vodíku z jaderného paliva u elektromotoru a u zážehového motoru, kde byly hodnoty velmi nízké. Benzin a motorová nafta se z hlediska emisí řadily do průměrných hodnot. Nejvíce škodlivých plynů vyprodukoval vodík vyrobený z černého uhlí, který oproti ostatním palivům dosahoval hodnot přibližně 4x větším.

V celkovém hodnocení nejlépe dopadl elektromotor napájený akumulátorem, palivový článek poháněný vodíkem ze zemního plynu, motorová nafta, benzin a CNG.

U Produkce skleníkových plynů Etanolu, řepkového oleje a FAME nebyl proveden odečet oxidu uhličitého, který by případně rostliny určené k výrobě těchto paliv spotřebovaly během svého života. Pokud by se tyto údaje započítávaly, pak by bylo možné, že by se emise u těchto paliv dosti změnily. Ovšem tyto hodnoty jsou dosti diskutabilní a proto nebyly uvedeny.

Výsledky ovšem neznamenaají, že energeticky náročnější paliva nebudou v budoucnu využívána. Mohou být zavedeny některá organizační, případně legislativní opatření, která by učinila výrobu a využití alternativních paliv výhodnými. Výrobní cena paliv byla uvedena v kapitole 3. Tyto ceny může EU nebo stát zatěžovat různou DPH nebo spotřební daní a docílit tak zvýhodnění ekologičtějších nebo obnovitelných paliv.

Závěrem je nutné říci, že motorová nafta a benzin jsou již zavedenými palivy a do vývoje spalovacích motorů bylo vloženo mnoho investic. Z tohoto důvodu se na trhu budou těžko prosazovat jiná paliva, pokud nebudou dostatečně podporována.

Seznam použité literatury

- [1] Laurin, J.: *Udržitelný rozvoj a současné trendy snižování energetické náročnosti pohonů automobilů*. Liberec, 2004
- [2] Laurin, J.: *Snižování energetické náročnosti pohonů automobilů*. Nitra, 2007
- [3] Hromádka, J., Miller, P., Hönig, V., Štěrbá, P.: *Hodnocení životního cyklu fosilních paliv a bioetanolu*. Praha, 2009
- [4] Šebor, G., Pospíšil, M., Žákovec, J.: *Technicko-ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2006
- [5] Eucar, Concave, Jrc: *Well to Wheels Analysis of the Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context*, [online]. [23. 03. 2011]
dostupné na internetu
<http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTT%20App%202%20v30%20181108.pdf>
- [6] Eucar, Concave, Jrc: *Well to Wheels Analysis of the Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context*, [online]. [23. 03. 2011]
dostupné na internetu
<http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/V3.1%20TTW%20Report%2007102008.pdf>
- [7] *Hodnocení benzinů*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, [online]. [24. 03. 2010]
Dostupné na internetu
<http://cesmina.vscht.cz/trp/images/Dokumenty/Navody-na-laboratore/Hodnoceni-benzinu+FIA-bac+maq.pdf>
- [8] *Automobilový benzin*, [online]. [24. 03. 2011]
Dostupné na internetu
<http://www.petroleum.cz/vyrobky/benzin.aspx>
- [9] Matějovský V.: *Automobilová paliva*. Nakladatelství Grada, Praha 2005
- [10] *Co je zemní plyn*, [online]. [23. 03. 2011]
Dostupné na internetu
<http://www.zemniplyn.cz/plyn/>
- [11] *Přeprava a uskladnění*, [online]. [23. 03. 2011]
Dostupné na internetu
<http://www.zemniplyn.cz/doprava/>
- [12] Soukup, P.: *Vše o CNG – Úvod*. 2009, [online]. [06. 04. 2011]
Dostupné na internetu
<http://www.hybrid.cz/clanky/vse-o-cng-1-uvod>
- [13] Šebor, G., Pospíšil, M.: *Možnosti využití biopaliv v dopravě v České republice do roku 2020*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005
- [14] Laurin, J.: *Etylalkoholová motorová paliva*. Technická univerzita v Liberci
- [15] *Výroba vodíku parním reformováním*, [online]. [12. 04. 2011]
Dostupné na internetu
<http://www.petroleum.cz/zpracovani/zpracovani-ropy-43.aspx>
- [16] Janík, L.: *Strategická výzkumná agenda rozvoje vodíkového hospodářství v ČR*. 2010, [online]. [12. 04. 2011]
Dostupné na internetu
http://www.hytep.cz/data/docs/SVA_HYTEP.pdf

- [17] Forbelský, A.: *Spalování vodíku v pístových spalovacích motorech*. Brno, 2009, [online]. [12. 04. 2011]
Dostupné na internetu
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17041
- [18] Scholz.: *Vlastnosti vodíku jako paliva pro spalovací motory*. Liberec 2009
[online]. [12. 04. 2011]
Dostupné na internetu
www.ksd.tul.cz/studenti/texty/VM_Sem/Prednaska_4_vm.pdf
- [19] Blažek, J., Rábl, V.: *Základy zpracování a využití ropy*, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. [online]. [20. 04. 2011]
Dostupné na internetu
http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-619-2/pages-img/001.html
- [20] Laurin J.: *Motorové palivo dimetyléter*. Technická univerzita v Liberci.
- [21] *Methanol*. 2011, [online]. [27. 04. 2011]
Dostupné na internetu
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Methanol>
- [22] Souček, J.: *Výroba a užití kapalných biopaliv*, Praha 2006
- [23] Laurin, J.: *Rostlinné oleje jako motorová paliva*. Biom.cz , [online] [28. 04. 2011]
Dostupné na internetu
<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/roslinne-oleje-jako-motorova-paliva>
- [24] Laurin, J.: *Biopaliva pro vznětové motory v České republice*. Technická univerzita v Liberci
- [25] *RAPSÖLKRAFTSTOFFQUALITÄT E DIN 51605 – Norma řepkového oleje dle DIN 51605*
- [26] *hydrogenační rafinace minerálních olejů*, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, [online] [02. 05. 2011]
Dostupné na internetu
<http://cesmina.vscht.cz/trp/images/Dokuments/Navody-na-laboratore/Hydrogenacni-rafinace-oleju-mag.pdf>
- [27] Snášel P.: *Alternativní paliva pro spalovací motory pro konvenční automobily*. Vysoké učení technické v Brně, Brno 2008.
- [28] Informace poskytnuté vedoucím vývoje EVC P3 – Praktik panem Solařem M. Některé informace dostupné na internetu
<http://ekolo.cz/-d101>
- [29] Miroslav P.: *Benzin v Česku drahý teprve bude*. Hospodářské noviny [online] [16. 05. 2011]
Dostupné na internetu
<http://www.petrol.cz/trh/print.asp?id=15118>
- [30] Informace poskytnuté společností RWE [16. 05. 2011].
- [31] Informace poskytnuté vedoucím prodeje biopaliv, panem Bažatou M. Některé informace dostupné na internetu
www.agropodnikjihlava.cz
- [32] Doucek A: *Úvod do vodíkového hospodářství*. Ústav jaderného výzkumu Řež [online] [16. 05. 2011]
Dostupné na internetu
<http://www.pro-energy.cz/clanky11/4.pdf>

[33] Informace poskytnuté společností Česká rafinérská a.s.
Dostupné na internetu

<http://www.crc.cz/cz/adresy-spolecnosti.aspx>

[34] Informace poskytnuté z komunikace Skupiny ČEZ od paní Dufkové M.
Některé informace dostupné na internetu

http://www.cez.cz/edee/content/file/investors/2010-annual-report/VZ2010_cz.pdf